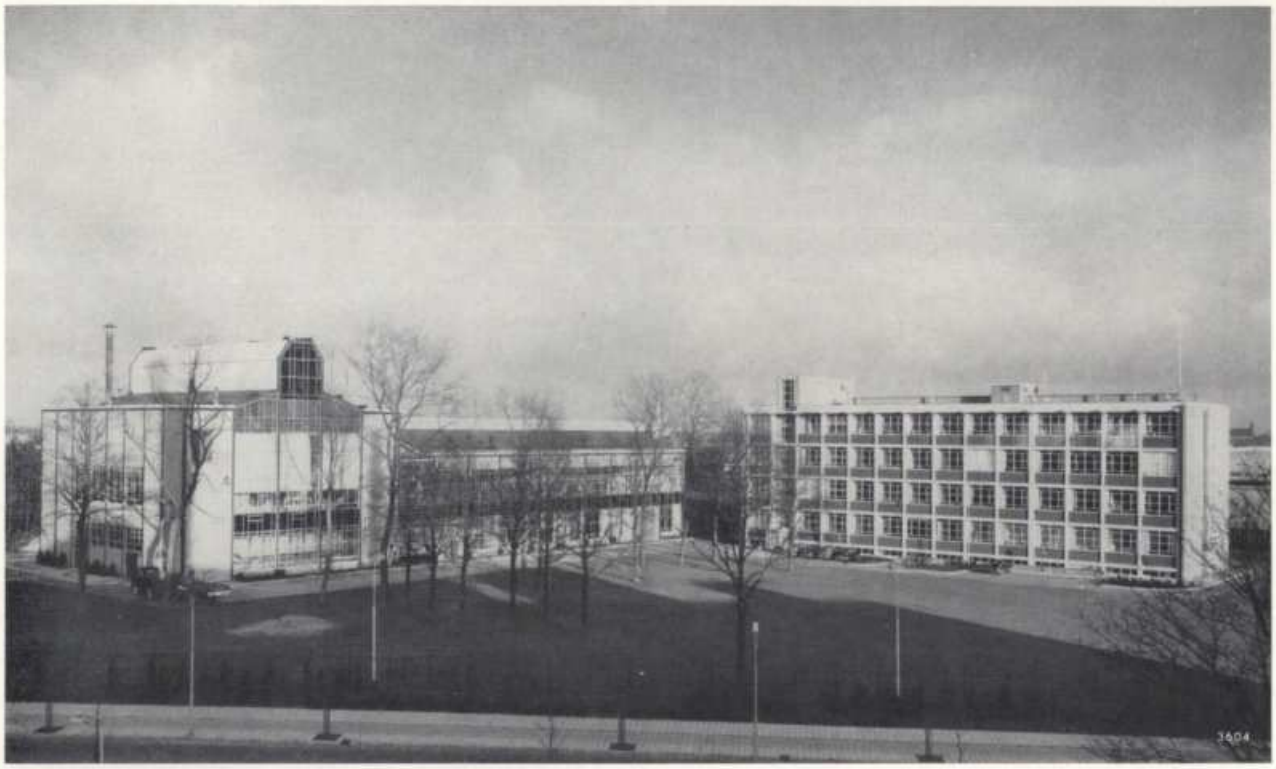
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

JAARGANG 22, 1960, no. 9/10 blz. 293-356 Verschenen 16 januari 1961

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN



Dit nummer van ons tijdschrift is geheel gewijd aan het materiaal „glas" — een der belangrijkste materialen die de Philipsfabrieken in hun produkten verwerken. Glas dient hier vanouds, in talrijke soorten en vormen, als het befaamde „verpakkingsmateriaal voor vacuüm". De bereiding en verwerking van dit materiaal in de massafabricage — de moderne smeltovens met hun hulpapparatuur, en de ballonblaasmachines, merkwaardige staaltjes van mechanisatie — komen in dit nummer ter sprake naast de nog voortdurend evoluerende theoretische voorstellingen over de structuur van glas, met de verrassende gedachten van de invertglazen en van de „amorfe stof met roosterfouten". Een laatste, kort, artikel behandelt het thema van de „samenwerking", enerzijds tussen glas en metaal, anderzijds tussen producent en afnemer.

Aan deze reeks artikelen gaat vooraf een summier historisch overzicht van wat de mensheid sinds 7000 jaren met het materiaal „glas" heeft gedaan. Artikelen van deze aard lijken ons nuttig, ook voor de ingenieur en de man van de natuurwetenschap, om hen te helpen het eigen werk en dat van anderen in een ruimer perspectief te zien. Het onderhavige historische overzicht is op ons verzoek geschreven door de Amsterdamse hoogleraar prof. Forbes, een der beste kenners van de geschiedenis der techniek.

Om reliëf te geven aan de grondgedachte die in het historische overzicht is uitgewerkt — de overgang van empirie naar wetenschap —, plaatsen we hierboven een foto van het Glasontwikkelingscentrum, dat in 1957 te Eindhoven in gebruik is genomen en waarin vrijwel het gehele onderzoek aan glas en de ontwikkeling van nieuwe fabricagemethodes der Philips glasfabrieken zijn geconcentreerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE TOEPASSING VAN GLAS IN DE LOOP DER EEUWEN

door R. J. FORBES *).

666.1.004.14

Glas „avant la lettre"

Van de vele moderne glassoorten en hun toepassingen voeren talrijke draden door de loop der geschiedenis terug naar één punt, de uitvinding van het glasblazen, in de eerste eeuw vóór onze jaartelling. Pas vanaf dat ogenblik kan men glas in feite beschouwen als een zelfstandig, alledaags materiaal. Doch glas, in allerlei primitieve vormen, was toen al tientallen eeuwen in gebruik, in hoofdzaak voor decoratieve doeleinden.

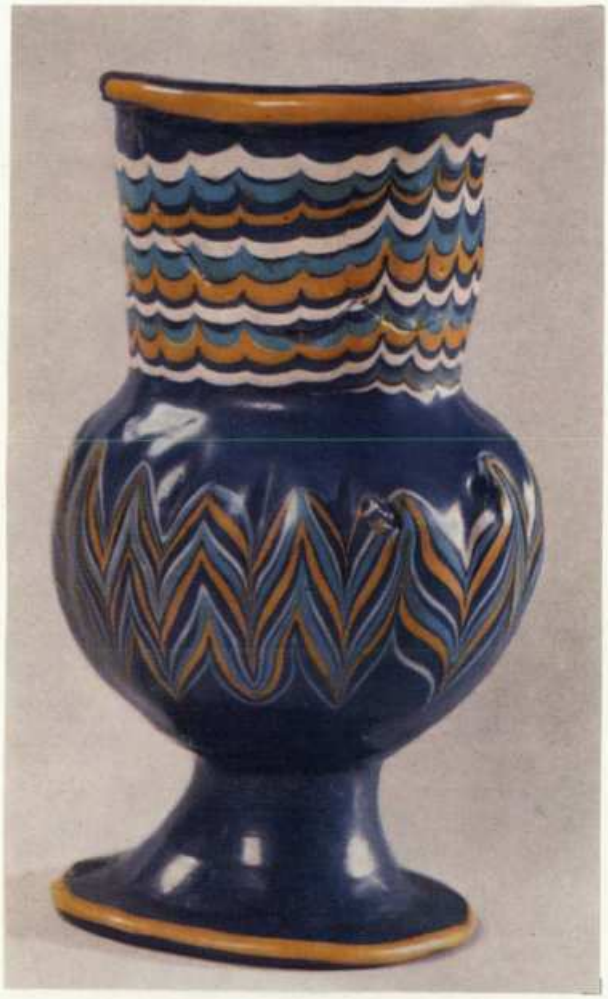


Fig. 1. Glazen zalf-flacon uit Egypte, 18de dynastie (ca. 1500-1350 v. Chr.). Het stuk moet vervaardigd zijn door modelleren van een warm glaslaagje in een vorm. Afbeelding op ware grootte. (Gereproduceerd met toestemming van Rijksmuseum van Oudheden, Leiden.)

Zeker sinds 5000 v. Chr. maakte men in het Nabije Oosten geglazuurd aardewerk. Men bracht op het aardewerk een dun glaslaagje aan, bereid door het samensmelten van kwartszand, schelpenkalk of magnesiethoudende kalksteen en „alkali". Voor dit alkali gebruikte men in Egypte meest de natuurlijke soda, gewonnen in de oasen in de westelijke woestijn, en in Foenicië en Mesopotamië de as van zeewieren en alkali-houdende planten. Reeds in prehistorische tijd bracht men aldus ook laagjes glazuur aan op fraai gekleurde halfedelstenen en kiezels. Door toevoeging van geringe hoeveelheden koper-, ijzer- en andere mineralen verkreeg men allerlei kleuren.

Omstreeks 1500 v. Chr. verschijnen in Egypte en Mesopotamië meer en meer kleine voorwerpen geheel van glas. Deze werden volgens vier technieken gemaakt [1]).

1) Men goot kralen of stukjes glas in kleine vormen, om ze dan voor sieraden, mozaïek- of cloisonnéwerk te gebruiken. Zulke kralen werden over geheel prehistorisch Europa geëxporteerd, en hun vorm en stijl dienen thans de archeoloog vaak voor de datering van vondsten. De techniek voor het maken van zulke kralen en imitatiesierstenen kwam van Mesopotamië naar China, waar ze eeuwen in de mode bleven; de techniek werd daar nog veel later, in de 18de eeuw na Chr., toegepast voor siervoorwerpen en kleine glazen reukflesjes, die naar Europa werden uitgevoerd.

2) Men modelleerde een warm glaslaagje in een vorm. Deze techniek was verwant aan die van het, eveneens in de oudste tijden reeds vervaardigde, faïence-aardewerk, waarbij een kiezelig poeder, aangemaakt met kalkmelk, wordt gemodelleerd (de verhitting komt daar echter pas na de vormgeving). Een spectaculair voorbeeld is de beroemde neksteun van blauw glas die in 1922 in het graf van Tutanchamon (14de eeuw v. Chr.) werd gevonden. In de residentie van deze farao te El Amarna is een complete werkplaats opgegraven waarin de bedoelde techniek werd toegepast. *Fig. 1* toont een Egyptisch flesje uit die tijd, op deze wijze vervaardigd.

3) Men goot grotere stukken al of niet gekleurd glas van willekeurige vorm (b.v. in kleikroezen), die dan

*) Hoogleraar in de Geschiedenis van wetenschap en techniek, Universiteit van Amsterdam.

[1]) R. J. Forbes, Studies in ancient technology, V, Brill, Leiden 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

op de wijze van bergkristal tot amuletten of sieraden werden gesneden. Van deze techniek zijn alleen uit Mesopotamië voorbeelden bekend, het oudste is een vaasje van koning Sargon II (700 v. Chr.), dat in *fig. 2* is afgebeeld.

4) Om een zandkern werden staafjes nog warm glas gemodelleerd en daarna door naverhitten tot samensmelten gebracht; het zand werd dan verwijderd. Soms sneed men schijfjes uit de nog warme, gekleurde, glasstaafjes en schikte deze op een kern, om ze dan samen te bakken tot een vaasje of kom („millefiori"); zie *fig. 3*. De zalfpotjes en reukflesjes, volgens dit procédé gemaakt, waren in de Grieks-Romeinse Oudheid zeer in trek. De geschiedenis van de millefiori-techniek is dan ook nauw met die van de kosmetische industrie verbonden.

Niet uit Egypte, doch wel uit Assyrië kennen we teksten, stammend uit 1700-700 v. Chr. (*fig. 4*),

Fig. 2. Glazen vaasje (hoogte ca. 15 cm), met hierop in spijkerschrift de naam van koning Sargon II van Assyrië (700 v. Chr.); gevonden in Nimrud. De vaas moet uit een massief blok glas geslepen zijn; zie de groeven binnenin. (Gereproduceerd met toestemming van British Museum, Londen.)

Fig. 3. „Millefiori"-schotel, uit de eerste eeuw na Chr., middellijn 14,5 cm. Gevonden te Nijmegen. (Gereproduceerd met toestemming van Rijksmuseum van Oudheden, Leiden.)

die ons uitvoerig over ovens en het smelten van glas inlichten en die recepten geven voor een ruw glas, dat tot glazuur of tot gekleurd glas werd versmolten met kleurende mineralen. De basis is steeds een zand-soda-kalkglas, dat ten minste zes eeuwen vóór Chr. ook reeds in Foenicië werd gemaakt. Daar werd dan rond 50 v. Chr. de beslissende uitvinding gedaan: het blazen van glas.

Van siersteen tot materiaal voor alledag

Door het blazen van glas, dat vermoedelijk eerst in een vorm maar zeer spoedig ook vrij in lucht gebeurde, ontdekte men nieuwe, essentiële eigenschappen van het glas. Hiermee ging gepaard niet alleen het ontstaan van een veel grotere verscheidenheid van vormen (*fig. 5*), doch ook het gebruik in huis en werkplaats naast of in plaats van metaal en aardewerk. Met name het feit dat men nu ook zeer dun, niet alleen doorschijnend maar zelfs doorzichtig glas kon maken, opende nieuwe mogelijkheden voor de wetenschap en het leven van alledag.

Het is moeilijk te zeggen, wat de beslissende factor geweest is, de gemakkelijke verwerking en vormgeving of de nuttige en fraaie eigenschappen — maar vast staat dat het gebruik van glas nu spoedig een zeer grote omvang aannam.

Binnen een eeuw na de uitvinding van het blazen van sodaglas was deze kunst via Perzië naar het Oosten verbreid. Ook in het Westen vond men Syrische, Joodse en Alexandrijnse glasblazers, zowel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in Rome en de streken ten zuiden van de hoofdstad, alsook in het Rhône- en Saône-dal en het Rijnland. Vandaaruit verspreidden ze zich naar Spanje, de streken langs de grens van België en Frankrijk — waar hout in overvloed beschikbaar was voor de smeltovens — en tot in Engeland. De oude technieken van persen in een vorm en modelleren om een kern werden nog steeds toegepast, maar het vrij technieken toegepast. De oude millefiori-techniek bleef nog lang in zwang in het oude Alexandrië, het centrum van de kosmetische industrie. Een nieuwe decoratietechniek berustte rechtstreeks op het blazen: de hete glasklomp aan de blaaspijp kon in een vorm worden uitgeblazen, en door dompeling in verschillende glasbaden en opnieuw uitblazen kon men gelaagde glazen voorwerpen maken. Het

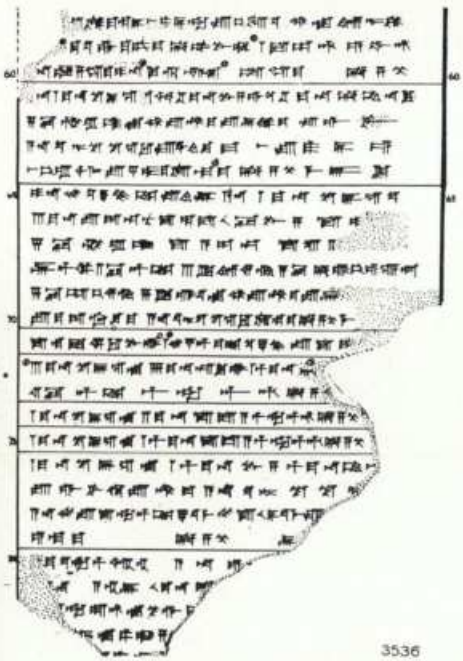


Fig. 4. Het oudste document over het maken van glas: Mesopotamisch spijkerschrifttablet uit de 17de eeuw v. Chr., bevattend recepten voor diverse soorten glas en glazuur. Links foto, daarnaast transcriptie, geheel rechts vertaling van de eerste 20 regels. Door een onderzoek, waarbij men de recepten heeft nagewerkt, is hun bruikbaarheid (en de juistheid van de vertaling) bevestigd; zie het aangehaalde boek[1]), blz. 131 e.v. (Foto gereproduceerd met toestemming van British Museum, Londen.)

1. Aan een mine zukû-glas (zult ge toevoegen) 10 shekel lood,*)
2. 15 shekel koper, ½ shekel salpeter, ½ shekel kalk
3. zult ge in de oven doen (en) ge zult eruit krijgen santu (rood) loodglas.
4. Aan een mine zukû (zult ge toevoegen) 1/6 (mine) lood,
5. 14 shekel koper, 2 shekel kalk, 1 shekel salpeter:
6. Ge zult (het) in de oven neerzetten (en) zult er Akkadisch santu (rood) glas uit krijgen.
7. (Ge zult) klei groen maken en (ze zetten) in azijn en koper en laten staan.
8. Op de derde (dag) van het bewaren door U
9. zal het een waas afzetten en ge zult (het) eruit nemen.
10. Ge zult het onophoudelijk afschenken en het zal drogen en
11. ge zult het vormen. Als het is (als) marmer, weest niet bedroefd.
12. Akkadisch santu glas en (dat van) lood,
13. ge zult er gelijke delen van nemen, en
14. ze samen vergruizen.
15. Nadat ge ze samen hebt gesmolten,
16. op 1 mine van de smelt 1½ shekel zukû-glas,
17. 7½ grein salpeter, 7½ grein koper en 7½ grein lood,
18. zult ge samen vergruizen en
19. ge zult het versmelten en houden (aldus gedurende) een (dag?)
20. en ge zult het eruit nemen en laten koelen . . .

*) 1 mine (505 gram) = 60 shekel = 10 800 grein (gerstekorrels). De Assyrische weegschaaltjes waren zeker tot op 5 milligram nauwkeurig!

blazen was de belangrijkste werkwijze. Daarnaast handhaafde zich ook het snijden van glas, dat niet door de „vitrearii" (glasblazers) werd beoefend doch door de „diatretarii" (glassnijders), met technieken ontleend aan het veel oudere bewerken van bergkristal en edelstenen [2]).

In de talrijke voorwerpen uit die tijd die bewaard gebleven zijn, ziet men een reeks van decoratie-

reeds gevormde, doch nog warme glazen voorwerp kon men vervormen met ribben of inkepingen, of men kon er glasnoppen en -draden ter versiering op aanbrengen. Ook kon men het glas koud bewerken door polijsten, beschilderen of emailleren, men kon het vergulden met bladgoud (vaak tussen twee laagjes glas opgesloten). De glassnijders konden ten slotte het koude glas holslijpen en van facetten voorzien met een draaiende slijpsteen en amaril, zij konden het oppervlak „en relief" slijpen of zij konden het graveren. Dit laatste gebeurde met obsidiaan of dergelijke, want de diamant kende men in de Oud-

[2]) Veel van onze kennis over glas in die tijd is ontleend aan Plinius, met name aan het 26ste boek van zijn „Natuurlijke Historie".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 5. Kruik van geel glas, vervaardigd door blazen in een vorm, omtrent het begin van onze jaartelling. Het glasblazen, ook vrij in lucht, moet kort voor die tijd zijn uitgevonden. De kruik draagt de signatuur „Ennion", naam van een Syrische glasblazer, van wiens werkplaats produkten op talrijke plaatsen van het toenmalige Romeinse Rijk zijn gevonden. (Gereproduceerd met toestemming van Metropolitan Museum of Art, New York.)

heid nog niet. *Fig. 6* illustreert wat deze lieden met hun relatief eenvoudige middelen wisten te bereiken.

Versierd geblazen glaswerk deed het eerst zijn intrede in de huizen van de rijke Romeinen, als concurrent van goud- en zilversmeedwerk. Daarnaast importeerde men in Rome de millefiori-flesjes, schalen en snuisterijen, waarvan Alexandrië de exporteur was. Het oudste glaswerk was bijna even duur als gesneden bergkristal, doch omstreeks 75 na Chr. beginnen de prijzen te zakken, doordat naast het maken van sierglas ook massaproduktie van eenvoudig glazen huishoudgerei begint. De werkplaatsen waarin de fabricage plaatsvond, waren zo talrijk dat men b.v. in Rome de glasblazers sinds 200 na Chr. concentreerde in de wijken op de Mons Caelius, omdat de rook van hun vuren elders te hinderlijk werd. Er was zelfs een georganiseerde handel in gebroken glas, dat via de opkopers zijn weg terug naar de glasovens vond. Omtrent deze tijd is in Rome glaswerk op tafel al een teken van armoede! Een zelfde ommezwaai vindt omstreeks 200 na Chr. in het Nabije Oosten plaats, en vondsten zoals bij opgravingen te Karanis (Fayum, Egypte) gedaan, getuigen van de veelzijdigheid der glasblazers van Alexandrië, ook als het eenvoudig glaswerk voor alledag betreft. Tijdens de Christenvervolgingen onder Diocletianus (300 na Chr.) verklaart een dorpshoofd in Egypte dat zijn gemeente maar

Fig. 6. Romeins „kooi"-glas (hoogte 18 cm), gevonden in 1950 in een stenen sarcofaag te Niederemmel bij Trier, en waarschijnlijk afkomstig uit een der glaswerkplaatsen van Keulen van einde 3de of begin 4de eeuw na Chr. De kooiglazen, gesneden uit één, oorspronkelijk dikwandige, glazen beker, representeren wel de hoogste trap van kunstvaardigheid die de glassnijders hebben bereikt. De toegepaste techniek wordt uitvoerig besproken door F. Fremersdorf, Schuhmacher-Festschrift, Mainz 1930. (Gereproduceerd met toestemming van Rheinisches Landesmuseum, Trier.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

arm is en slechts glazen, dus goedkope misvaten kan bekostigen! In het Westen kwam de analoge ontwikkeling later: hier verbood paus Leo V omstreeks 850 het gebruik van glazen vaatwerk bij het misoffer, omdat dit een te goedkoop en slecht materiaal was geworden.

Europa ontdekt nieuwe glassoorten

De glasindustrie die zich in Gallië en in het Rijnland gevestigd had, beleefde enige eeuwen van grote bloei. Vooral Keulen en Trier, dat omstreeks 300 na Chr. tot de rang van derde stad van het Romeinse Rijk opgeklommen was, waren centra van produktie (vgl. ook fig. 6). Hier ontstond waarschijnlijk uit een Germaans woord voor barnsteen (of algemeen voor een doorzichtige, glanzende stof), de laat-Latijnse term *glesum*, oorsprong van ons woord „glas".

De invallen der barbaren en de val van het West-Romeinse Rijk maakten voorlopig een einde aan de ontwikkeling van de glasindustrie in Midden-Europa. Wel bleven er nog glasblazers in de steden langs de Rijn en de Rhône werken, doch vele landelijke glasblazers verlieten het onveilige Westen en trokken zich terug naar Italië, met name naar de Povlakte en naar l'Altare (bij Genua), vanwaar zij zich later weer zouden verbreiden over Europa. Het geleidelijk weer tot bloei komen van het glashandwerk in het Frankische Rijk was ten dele te danken aan kerk en klooster, die niet alleen als bewaarders van oude kennis fungeerden maar ook als afnemers voor nieuwe, omvangrijke toepassingen van glas, o.a. voor glasmozaïeken en gekleurde kerkramen — al werd dan het gebruik voor misvaten afgekeurd. Aan Hrabanus Maurus (gestorven 856), bisschop van Mainz en raadsman van Karel de Grote, hebben we een beschrijving van de glasfabricage uit die tijd [3]) en de oudste afbeelding van een glasoven te danken (*fig.* 7). Een complicatie voor de glasindustrie in het Rijnland was dat de aanvoer van soda uit het zuiden moeilijk geworden was. Men moest zich behelpen met plantenas, die kalihoudend was. Ook later, na de tiende eeuw, bleef dit kaliglas karakteristiek voor Centraal-Europa, toen zich de glasblaaskunst uitbreidde naar Thüringen, Bohemen, Saksen en Silezië, terwijl langs de kuststreken het oude sodaglas werd gemaakt. Er kwam trouwens weinig verandering in de techniek, mede door gebrek aan scheikundige kennis omtrent glas. Hoogstens duiken andere vormen op,

Fig. 8. Beschilderde Arabische moskeelamp uit Damascus, 1350. (Gereproduceerd met toestemming van Corning Museum of Glass, Corning, N.Y.)

Fig. 7. Afbeelding van een glasoven bij Hrabanus Maurus [3]).

[3]) Hrabanus Maurus, De originibus rerum, Monte Cassino mss. 1023.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zoals het „tumbler"-drinkglas. De oudste handboeken, zoals die van Heraclius en Theophilus uit de negende en tiende eeuw [4]), tonen een ongebroken traditie van minstens 1500 jaren!

Ook in het Oosten was de traditie ongebroken, zelfs na de opkomst van de Islam. Dezelfde siertechniek als bij bergkristal bleef in zwang, en daarnaast vindt men fraai geschilderd, verguld en geemailleerd Arabisch glaswerk (*fig. 8*), dat zelfs tot de schatkamers van middeleeuwse kathedralen doordrong. De komst van de Mongolen valt samen met het toepassen van Chinese decoratieve elementen op dit glaswerk, doch tevens luidde zij de vlucht in van vele glasblazers uit Damascus en Aleppo naar het Westen. Hier was Venetië een belangrijk centrum geworden, sinds (rond 1050) glasblazers uit Constantinopel waren ontboden om de mozaïeken voor de San Marco te maken. Rond

Fig. 9. Glaswerkplaats uit het jaar 1550, afgebeeld in: Georg Agricola, De re metallica, Bazel 1556.

[4]) Compositiones Variae, Codex 490, Bibliotheca Capitulare, Lucca; Heraclius, über die Farben und Künste der Römer, Edit. Ilg, Wenen 1873; W. Theobald, Des Theophilus Presbyter Diversarum artium schedula, V.D.I. Verlag, Berlijn 1933.

1200 vormden zij een sterk gilde, dat zich in 1291 op het eiland Murano vestigde, om door deze afzondering het fabricagegeheim beter te kunnen bewaren. Emigratie van gildeleden was op straffe

Fig. 10. Het teken der alchemisten voor glas. Het teken is samengesteld uit het symbool ☓ voor „breken", het teken ☿ voor Mercurius en het teken ♂, dat een blaaspijp met aanhangende ballon voorstelt (naar K. F. Bauer, Glastechn. Berichte **24**, 191, 1951).

van de dood verboden. Op Murano maakten de gepriviligeerde glasblazers siervaatwerk uit sodaglas, dat met goud- en zilversmeedwerk moest concurreren; sinds 1500 volgde men oud-Romeinse en Oosterse voorbeelden.

De doodstraf op de emigratie van deze glasblazers heeft niet belet dat hun kunst zich in de zestiende en zeventiende eeuw toch over andere landen verbreidde. De Venetiaan Gridolphi, in de Nederlanden werkzaam, klaagt dat het lokale glaswerk nauwelijks is te onderscheiden van het echte Venetiaanse. In 1575 verkrijgt Verzelini voor 21 jaar het monopolie in Engeland „Venetiaans glas" te maken, mits hij Engelsen het vak leert. In 1592 verkoopt hij zijn octrooi aan Engelse zakenlieden, die het 70 jaar weten te verlengen.

Glas was inmiddels op grote schaal in gebruik gekomen voor huishoudelijk gebruik, voor scheikundige apparaten en ander gerei, en voor vensterruiten. De grote glasovens, afgebeeld in het bekende boek van Agricola, De re metallica (1556), getuigen van de omvang van deze fabricage (*fig. 9*). De Italiaanse wetenschappelijke veroveringen van 1550-1650, waarop we in het vervolg nog terugkomen, waren voor een deel aan de Venetiaanse glasblaaskunst te danken. Dat ook de alchemisten grote belangstelling voor het glas toonden, is niet te verwonderen. Ze hadden een speciaal teken voor glas (*fig. 10*), zoals voor andere belangrijke substanties. Reeds ca. 550 na Chr. had Aeneas van Gaza er op gewezen dat het ontstaan van het fraaie glanzende glas, bij het samensmelten uit nederige, vrijwel waardeloze uitgangsstoffen, als voorbeeld kon dienen van de „metamorfose van materie tot een hogere staat" — het doel dat de alchemisten in hun vaandel hadden geschreven. Veel vooruitgang in de technologie van het glas echter hebben hun bemoeiingen niet gebracht, bij gebrek aan wezenlijke kennis van de samenstelling ervan.

De zeventiende eeuw bracht belangrijke veranderingen. Allereerst verscheen in 1612 het handboek van Neri, dat, spoedig in vele talen vertaald, de glasblazers van andere landen de kunst der Itali-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

anen onthulde [5]). In 1615 werd het gebrek aan hout voor de Engelse marine zo groot dat men de glasblazers en anderen in Engeland verbood hout als brandstof te gebruiken. Dit verbod hing reeds lang in de lucht, en er waren al octrooien verleend op het smelten van glas in kroezen in een vlamoven, met „sea-coal" uit Newcastle gestookt. Na vele proeven slaagde Ravenscroft er voorts in, een zachter, helderder en glanzender glas te maken dan het Venetiaanse sodaglas (1675). Zijn potas-loodoxydeglas kon geheel uit Engelse grondstoffen worden gemaakt. Het werd op de markt gebracht door de Glass Sellers' Company en het had groot succes, ook op het vasteland. Hier had Anna Roemer Visscher in de eerste helft van de zeventiende eeuw „roemers" met stippelgravering in de mode gebracht (*fig. 11*), die nu, rond 1700, van het nieuwe „kristalglas" werden gemaakt.

In Bohemen en Duitsland was inmiddels een potas-kalk-„kristalglas" in gebruik gekomen. Kunckel beschrijft hoe dit beter dan sodaglas door een draaiende slijpsteen kon worden bewerkt, een methode ingevoerd door Caspar Lehman, juwelier aan het hof van Rudolf II. Naast dit „Boheemse kristalglas" maakte men ook opaak glas met behulp van tinoxyde, gecalcineerd been of hoorn, en met het in die tijd uitgevonden, uit tinchloride en goudchloride bestaande, „purper" van Cassius maakte men rond 1675 goud-robijnglas. Het Boheemse kristal was oorzaak van de achteruitgang van de Venetiaanse glasindustrie, doch het werd op zijn beurt tegen het einde van de achttiende eeuw overvleugeld door het Engelse kristal.

Inmiddels had onder Lodewijk XIV minister Colbert de Franse nijverheid onafhankelijk van Venetië willen maken door beschermende rechten. In de fabrieken te Baccarat, Clichy en St.-Louis maakte men spoedig voortreffelijk millefiori-werk en spiegelglas, en het Franse kristalglas was in het midden van de negentiende eeuw oppermachtig, want zware belastingen, die pas in 1845 werden opgeheven, drukten nu op de Engelse glasindustrie, die zich zelfs deels naar Ierland verplaatste. Toch bleef ze inventief. Men vond o.a. dat arseenverbindingen goed opaak glas leverden en dat toevoeging van hoogovenslakken een besparing op alkali in het glas gaf, en men ontdekte in 1755 een doorzichtig robijn-loodglas.

De Amerikaanse glasindustrie kwam slechts moeizaam op gang. Pogingen van de London Glass Company in 1608 en 1621 om in Amerika met de glasfabricage te beginnen, faalden. Na korte successen in de achttiende eeuw ondervond men telkens weer de moordende concurrentie van het moederland. Pas na 1820 begon men in de Nieuwe Wereld een reeks verbeteringen in de fabricage aan te brengen, die geleidelijk de Amerikaanse glasindustrie haar vooraanstaande plaats zouden bezorgen. De eerste van deze reeks was het mechanisch persen van glaswerk in ijzeren vormen, dat in 1827 werd gevonden en door de Boston and Sandwich Glass Company werd toegepast; verdere ontwikkelingen komen nog ter sprake in ander verband.

Fig. 11. Nederlands drinkglas van 1621, versierd met diamantgravure door Anna Roemer Visscher. (Gereproduceerd met toestemming van Rijksmuseum, Amsterdam, en met medewerking van Stichting Openbaar Kunstbezit.)

[5]) Antonio Neri, L'arte vetreria, Florence 1612.
Engels: C. Merret, The art of glass, Londen 1662. The art of glass by Mr. H. Blancourt, Londen 1699.
Latijn: De arte vitraria Libri VII, Amsterdam 1686.
Duits: J. Kunckel, Ars vitraria experimentalis, Amsterdam en Danzig 1679.
Frans: M.D., Art de la verrerie, Parijs 1752 (met notities van Merret en Kunckel). J. Haudiquer de Blancourt, De l'art de la verrerie, Parijs 1697.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Na dit meer algemene overzicht van de geschiedenis der glasindustrie in vogelvlucht, beschouwen we de ontwikkeling van verschillende applicaties van glas wat nader.

Kroes en kolf van glas

In de Middeleeuwen reeds gebruikten geleerden als b.v. Grosseteste (1175-1253) in het laboratorium glas voor reactievaten, kroezen en kolven, omdat glas het voordeel bood dat men kon zien wat er in het vat gebeurde. In het algemeen echter was het oudere glas niet goed bestand tegen de langdurige verhittingen die toen een belangrijk onderdeel van het chemisch onderzoek vormden. Men moest derhalve de glazen kolven „beslaan" met klei tegen oververhitting, doch verloor dan juist het genoemde voordeel. Bovendien was het glas niet goed bestand tegen uitloging. Boerhaave (1668-1738) moest b.v. nog een verhandeling wijden aan het vermoeden dat door langdurig koken van water in een glazen kolf „aarde" zou ontstaan; dit bleken uitgeloogde bestanddelen van de glaswand te zijn [6])! *Fig. 12* toont een 17de-eeuwse destilleerkolf van een type dat door Boerhaave nog veel werd gebruikt, een zg. pelikaan. Eerst de stichting van de fabriek van Schott te Jena (1882) bracht beter glas voor chemische apparatuur. Het nu zeer veelvuldig gebruikte boriumhoudende „Pyrex" glas werd omstreeks 1910 door de Corning Glass Works te Corning (New York) ontwikkeld en in 1915 op de markt gebracht. Dank zij de ver ontwikkelde glasblaastechniek en de elektrische oven van Moissan (1893) leerde men ook kwarts verwerken tot laboratoriumgerei (1904). Verwisselbare slijpstukken (1929) en geslepen stoppen (1918) hebben het bouwen van chemische apparaten wel zeer verlicht, en glas gebracht waar vroeger metalen apparaten stonden. Het moderne laboratoriumglaswerk kan soms uiterst ingewikkelde vormen aannemen, zoals door *fig. 13* wordt geïllustreerd. Zeer spectaculair zijn ook de grote apparaturen voor de chemische

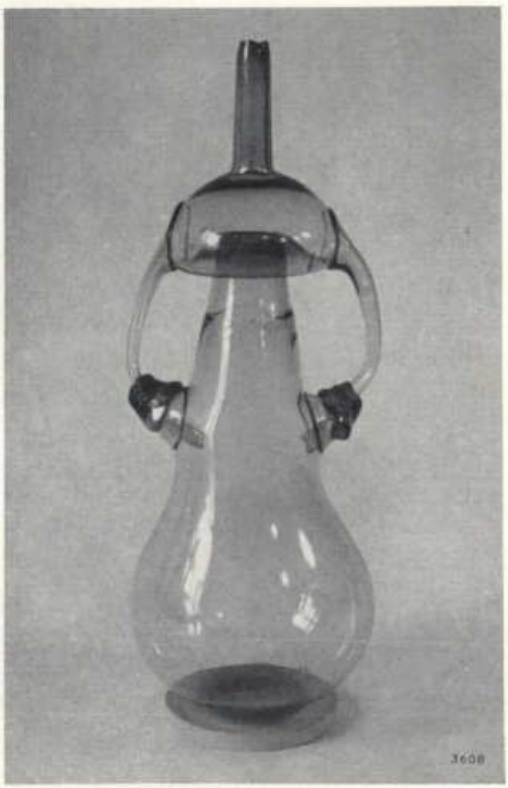


Fig. 12. Destilleerkolf uit de 17de eeuw, zg. pelakan. Over dergelijke kolven alsook over de techniek van de verbinding van glazen delen („luteren") zie b.v. R. Hooykaas, E.N.S.I.E. deel IX, blz. 528-543. Het hier afgebeelde, gracieus gevormde, exemplaar heeft de naam gekregen van „Rebecca-met-de-kruik". (Gereproduceerd met toestemming van Rijksmuseum voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Leiden.)

Fig. 13. Koeler met zeer groot geleidingsvermogen en groot condensatierendement, voor een hoogvacuümpompinstallatie, gebouwd te Eindhoven (A. Venema en M. Bandringa, Philips techn. T. **20**, 103, 1958). De koeler wordt door de bekervormige opening gevuld met vloeibare stikstof, die dan eveneens de binnenste bol geheel vult.

[6]) H. Boerhaave, Elementa Chemiae, Leiden 1731/32; zie ook A. S. Margraf, Mém. Berl. Akad. Wiss. 1766, blz. 20-31, waar Boerhaave's opvatting bestreden wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verwerking van vloeistoffen die in het geheel niet met metalen in aanraking mogen komen: zelfs de pompen in zulk een apparatuur kunnen geheel van een speciaal glas („Duran", Schott) worden vervaardigd.

schikt gevormde, urineglas (*fig. 14*) speelde een grote rol in de Middeleeuwse heelkunde, al werd later, toen de kwakzalvers zich te gretig op de „piskijkerij" toegelegd hadden, deze diagnostische methode weer uit de officiële geneeskunde verbannen. Ook voor

Fig. 14. Deel van een schilderij van Rogier van der Weijden, geschilderd omtrent 1450, met de heiligen Cosmas en Damianus, schutspatronen der medici (en derhalve, vanwege de overeenkomst in naam, ook van de familie der Medici te Florence, voor wie dit schilderij zeer waarschijnlijk vervaardigd is). De linker heilige houdt in zijn hand een urineglas (urinaal). De uroscopie werd in die tijd intensief door de artsen beoefend. (Gereproduceerd met toestemming van Städelsches Kunstinstitut, Frankfurt am Main.)

Eenvoudiger dan voor chemische processen kon het glas dienstbaar worden gemaakt aan de behoeften van de medicus. Het inspecteren van de urine op kleur en bezinksels in het doorzichtige, ge-

de koortsthermometer, sinds omtrent 1610 een belangrijk element in het medisch instrumentarium, dat door Boerhaave 100 jaar later ook in de klinische praktijken werd ingevoerd, waren de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

doorzichtigheid en de geschikte (in het begin nog niet heel eenvoudige) vormgeving de voornaamste eisen (*fig. 15*). In 1584 schrijft Jeremias Martius: „Das Glas braucht der Mensch auf mancherlei Weg, aber der Nutz, so es in der Artznei hat, übertrifft das ander alles."

Vensters

Het antieke huis met zijn binnenhof noodde niet tot het gebruik van glas voor de weinige ramen. Men gebruikte houten of aardewerkroosters, platen doorschijnend seleniet of albast, of geoliede blazen en vellen perkament. In opgegraven gebouwen te Pompeii, met name een gebouw van omstreeks 60 v. Chr., vindt men voor het eerst ruiten van glas. Dit zijn dan op een vlakke steen of in een vorm gegoten platen, die met tangen naar alle richtingen werden uitgetrokken (zoals Theophilus nog beschrijft) tot een gemiddelde grootte van 30×60 cm. Ook vindt men wel ronde glasschijven van 60-75 cm diameter, gemonteerd in een marmeren rooster. In het Oost-Romeinse Rijk vindt men sinds de vierde eeuw geblazen schijven van 16-20 cm diameter die de voorlopers lijken van het Normandische „kroonglas", dat men in de Middeleeuwen in het Westen maakte. Het procédé hiervoor bestond daarin, een glasklomp van de blaaspijp over te nemen op een „pontil" (ijzeren staaf) en door snel roteren te centrifugeren tot een schijf, die in het midden dikker is dan aan de randen (*fig. 16*). Zulke ruiten waren nog tot in de negentiende eeuw in gebruik.

Een andere methode, reeds door Theophilus [4]) beschreven, leverde „breed glas". Volgens deze Duitse zg. „cilindermethode" werd een cilinder tot een lengte van 120-180 cm en een middellijn van 30-50 cm geblazen; de uiteinden werden verwijderd en de cilinder werd warm met een schaar opengesneden en platgestreken op een stenen tafel met een polijsthout, om dan te worden gekoeld in een oven. Deze methode bleek tot aanzienlijke prestaties in staat te zijn. In 1832 werd zij uit Frankrijk in Engeland ingevoerd en verder ontwikkeld. De Chance Brothers Glass Company slaagde erin cilinders van 180 cm lengte en 40 cm diameter te maken, terwijl ook een betere methode van schuren en polijsten uitgevonden werd. Zo werden in 1851 de ruiten voor Crystal Palace gemaakt, waarmee glas als constructiemateriaal zijn intrede in de techniek deed. Nog in hetzelfde jaar benutte men de gedemonstreerde mogelijkheid om een grote broeikas te bouwen, waarin men de Victoria Regia, voor het eerst in Europa, in bloei wist te krijgen. (De broeikas zelf, in bescheidener afmetingen, bestond al in

Fig. 15. Een der eerste gesloten vloeistofthermometers, geconstrueerd door Santorio te Florence omtrent 1650 voor meteorologisch en medisch werk, met name door de Accademia del Cimento. Deze thermometers waren gevuld met alcohol („acqua arzente bianca"), en de graadverdeling — meestal in 100 of 50, bij sommige in 300 of zelfs 520 „graden" — is met puntjes van email aangebracht: zwart voor de eenheden, wit voor de tientallen, blauw voor de honderdtallen. Een recente ijking heeft getoond dat de inwendige doorsnede van de meterslange, hier tot een spiraal opgewikkelde, thermometerbuis (er bestaan ook rechte exemplaren) heel behoorlijk constant is. (Gereproduceerd met toestemming van Museo di Storia della Scienza, Florence. Zie ook: M. L. Bonelli, Gli strumenti superstiti dell' Accademia del Cimento, Domus Galil., Pisa 1958.)

Romeinse tijden: voor keizer Tiberius werden pompoenen gekweekt in een bak, met „doorzichtige steen" afgesloten tegen het ruwe weer.) Een hoogtepunt bereikte de cilindermethode toen Lubbers in 1903 erin slaagde cilinders van 12 m lengte en 1 m diameter te trekken (onder blazen) uit een smeltpot op de oven.

Glazen ruiten van grotere mechanische sterkte en, na een weliswaar omslachtiger bewerking, ook van betere kwaliteit konden worden verkregen met het gietprocédé. Dit procédé werd in de zeven-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tiende eeuw, vooral in Frankrijk, sterk gestimuleerd door de vraag naar spiegels en naar ruiten voor de portieren van koetsen. Omstreeks 1690 slaagde men in de koninklijke glasfabrieken te St.-Gobain erin het gietprocédé sterk te verbeteren. Het glas werd op een metalen tafel uitgegoten en met rollen uitgespreid, om dan geschuurd en gepolijst te worden. De fabricage floreerde, want in Frankrijk had men een overvloedige aanvoer van brandhout.

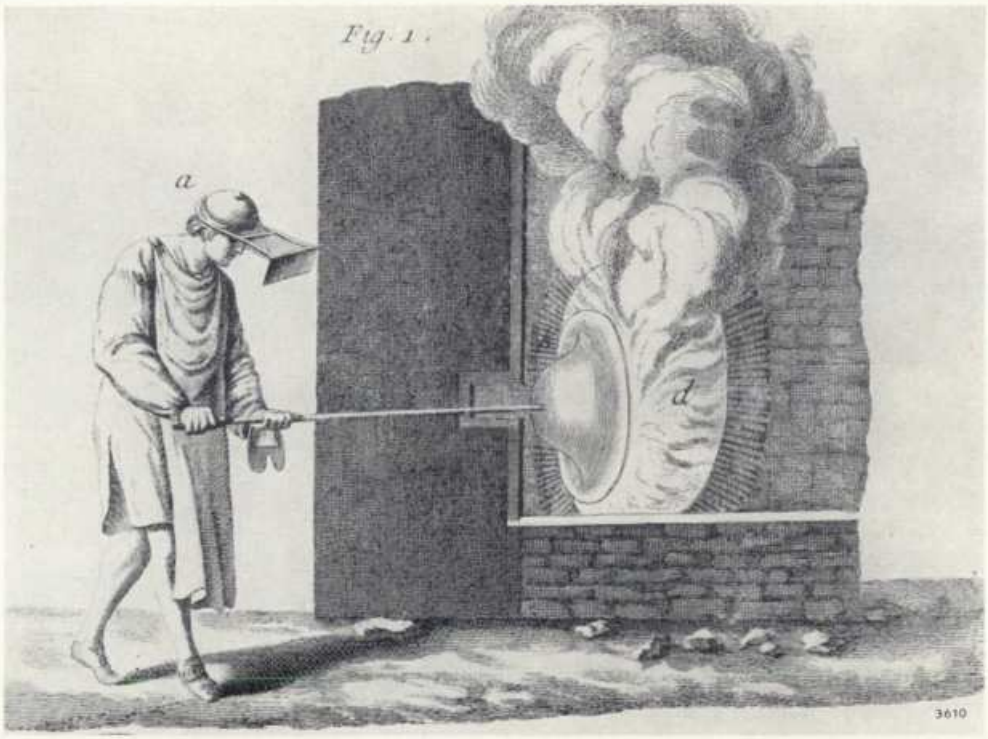


Fig. 16. Het maken van kroonglas met de „pontil" (een massieve ijzeren staaf). Een portie glas uit de oven wordt eerst uitgeblazen tot een bol. Deze wordt met een pontil, diametraal tegenover de blaaspijp, van deze overgenomen. Door opnieuw verhitten van de nu geopende bol in de oven en snel draaien van de pontil wordt het glas uitgeslingerd tot een platte schijf. Dit stadium toont de figuur. De schijf houdt in het midden, waar hij aan de pontil vastzat, een verdikking, de „kroon". De glaswerkers droegen beschermende maskers bij dit zeer hete en niet ongevaarlijke werk. (Uit „Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers" van Diderot en d'Alembert, Parijs 1752-1777; ten dele opnieuw uitgegeven door Dover, New York 1959.)

Niet zo in Engeland. Weliswaar had men in 1670 het gietproces daar ingevoerd om vensterruiten te fabriceren, doch een belasting op raamoppervlakte stond de economie van deze fabricage in de weg. In 1773 brachten Hugenoten de Franse vakkennis op dit gebied naar Engeland over. De fabriek van Ravenhead slaagde in 1776 erin ruiten tot 4×2 m te gieten. In 1843 kon men door gebruik van een gietijzeren basisplaat de maten nog opvoeren tot $4{,}5 \times 2{,}7$ m. De toeneming van de bouwintensiteit in Engeland rond 1820 stimuleerde het onderzoek naar betere, liefst continue, methodes voor de fabricage van vensterglas. Bessemer poogde in 1846 glas uit de oven door twee walsen te gieten, doch het gelukte nog niet op die wijze continu glas te maken. In 1884 goten de Chance Brothers glas op een hellende plaat en walsten dit verder uit. In 1857 was een octrooi verleend voor het trekken van vlak glas uit een oven, doch hierin slaagde Fourcault pas in 1901, door glas onder hydrostatische druk door een spleet, de „débiteuse", uit te oven te laten vloeien en dit door walsen verder te trekken. In 1913 was dit een commercieel proces geworden.

Spiegels

De oudste spiegels waren van metaal (brons of zilver), hoewel de Egyptenaren wel spiegels van opaak zwart glas gebruikten. Rond 200 na Chr. kwamen glazen spiegels, aan de achterzijde bekleed met tinfoelie, in gebruik. De middeleeuwse spiegels waren meest achthoekige, wat convexe, stukken glas, met lood bekleed. In 1503 vonden de gebroeders Del Gallo de methode om de achterzijde van spiegelglas te behandelen met een tin-amalgaam, waarvoor zij in 1507 een octrooi van 20 jaren kregen. Pas rond 1840 leerde men het langs chemische weg aanbrengen van een zilverlaagje op het glas. (Thans is zilver voor dit doel vrijwel geheel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verdrongen door aluminium.) De grootte der spiegels was evenals de indeling van vensters gebonden aan de grootte van de spiegelruiten. Het vlakken van dergelijke spiegels was nog een zeer moeilijk karwei, zoals wel blijkt uit de wandspiegels van de spiegelzalen uit de Rococo-tijd: tot het einde van de achttiende eeuw werden grote spiegels uit secties opgebouwd.

Afbeeldingen in gekleurd glas

Uit de vijfde eeuw wordt ons bericht over kerkramen van glas; gekleurd kerkglas wordt voor het eerst vermeld door Anastasius omstreeks 800. Deze toepassing van gekleurd glas schijnt zich in Constantinopel te hebben ontwikkeld uit de oud-Egyptische glasmozaïekkunst. Bij Theophilus [2]) en andere schrijvers treffen we al instructies aan voor het maken van glas-in-loodramen. Gelijk de Ouden maakte men blauw glas met koperzouten, groen met ijzer en koper, donkerblauw tot purper met mangaan, rood opaak glas met koperoxyduul, wit-opaak met tinoxyde, geel-opaak met antimoonoxyde, zwart met veel ijzer, koper of mangaanzouten. In de veertiende eeuw ontdekte men de kunst om met zilverchloride glas citroengeel tot oranje te kleuren. Neri [5]) geeft recepten voor donkerblauw kobaltglas.

Het gekleurde glas werd naar tekeningen gesneden tot scherven, met behulp van een heet ijzer; pas omstreeks 1500 werd hiervoor diamant gebruikt. De scherven werden vervolgens door loodbanden tot een raam samengevoegd. De oudste ramen bestaan uit dergelijke simpele stukjes gekleurd glas. Sinds de dertiende eeuw ging men de scherven van gekleurd glas desgewenst beschilderen met „grisaille" (glasgruis, metaalpoeder en gom), dat werd ingebrand en zo de vereiste schaduwwerking op de scherf gaf (*fig. 17*). In de zestiende eeuw schildert men dan met grisaille en emailverven direct op kleurloze glazen ruiten, zodat het glas-in-loodraam ontaardt in een imitatie van de paneelschilderkunst.

De grote vooruitgang van de scheikunde tussen 1750 en 1850 brengt glassoorten met vele nieuwe kleuren [7]), die thans niet alleen voor artistieke doeleinden, in glas-in-loodramen of voor sierglazen, maar ook voor meer alledaagse toepassingen in allerlei vaatwerk ingang vinden. In 1774 vond men dat de zouten van nikkel (ontdekt in 1751) bruin, grijs tot purper glas gaven, in 1779 dat ook ijzeroxydes een blauw glas kunnen geven en uraniumzouten een geel glas. Tezelfdertijd werd ook het groene chroomglas gevonden. Thénard (1777-1857) onderzocht de invloed van de toevoeging van zouten systematisch. De zuivere chemicaliën van de nieuwe chemische technologie maakten het mogelijk beter reproduceerbare kleuren te krijgen.

Fig. 17. Deel van een glas-in-loodraam uit 1220, afkomstig uit de einde 18de eeuw afgebroken abdij van Gerey, thans in Musée de Cluny, Parijs. Het paneel toont de heilige Martinus bij zijn komst aan de poort van Amiens, waar hij aan een halfnaakte bedelaar de helft van zijn mantel schenkt, die hij met zijn zwaard heeft doorgesneden. Goed te zien is, hoe de loodbanden, waarin de scherven van gekleurd glas zijn gevat, op vele plaatsen deel uitmaken van de compositie, b.v. in de contouren van paard en zwaard. (Gereproduceerd met medewerking van N.V. Filmfabriek Polygoon, Hilversum.)

De ontwikkeling die we in het vorenstaande het glas hebben zien doormaken onder invloed van de behoeften (blz. 301) en de mogelijkheden van de scheikunde, toont duidelijk de samenwerking tussen glasfabricage en natuurwetenschap, die zich sinds de Renaissance heeft ontplooid. Het mooiste voorbeeld van die samenwerking echter vinden we in de geschiedenis van bril, kijker en microscoop.

„Schijfjes voor de ogen"

Lenzen om te gebruiken als brandglazen waren in de Oudheid al bekend. De Griekse toneelschrijver Aristophanes laat een van zijn personages (Strepiades, in „Wolken") zeggen dat men een brandglas, waarmede vuur werd aangestoken, ook zou kunnen gebruiken om een dwangbevel op een afstand en zonder het aan te raken te verbranden. Het is waarschijnlijk dat lenzen wel als primitieve vergrootglazen werden gebruikt door de snijders van gemmen en cameeën. De Griekse wetenschap houdt zich bezig met de catoptrica, de leer van de terugkaatsing o.a. bij spiegels, en tevens met de dioptrica, de leer van de breking van het licht. De astronoom Ptolemaios geeft zelfs een tabel van

[7]) W. Ganzemüller, Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie, Chemie-Verlag, Weinheim 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

invalshoeken met bijbehorende brekingshoeken, zonder echter het wetmatig verband te formuleren. Ook bestudeert men de regenboog en de werking van het oog, beide problemen waarbij de breking van het licht een rol speelt.

De Griekse erfenis werd bestudeerd en uitgebreid door Arabische geleerden, met name door Ibn-al-Haitham (965-1039), in de Middeleeuwen bekend als Alhacen, wiens „Opticae Thesaurus" tot in de zeventiende eeuw de basis was voor alle theorieën over de werking van het oog, spiegels, enz. (*fig. 18*). Zijn studie over de regenboog werd in 1170 in het Latijn vertaald en daardoor aan een groter publiek

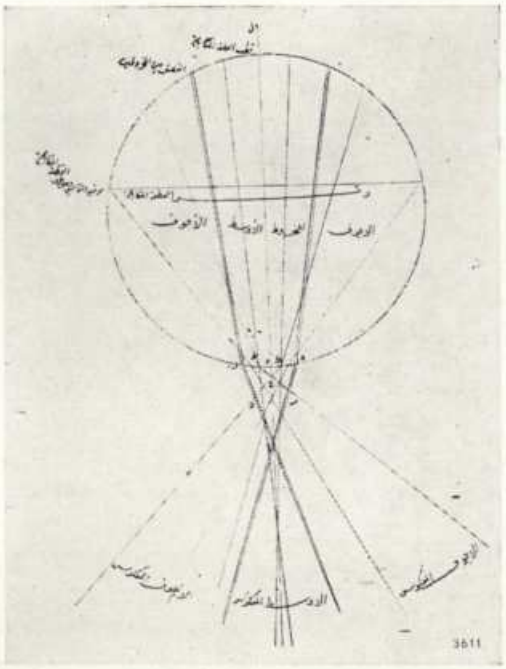


Fig. 18. Voorstelling van Ibn al Haitham (= Alhacen begin 11de eeuw) van de beeldvorming door een kristallen bol. De afbeelding is gereproduceerd uit een kopie van het commentaar dat Kamâl al Dîn in ca. 1310 op Alhacen's „Opticae" schreef. Uit het boek blijkt dat Alhacen wist dat men ter vergelijking van een scherp beeld alleen de stralen dicht bij de optische as moet gebruiken. (Gereproduceeerd met toestemming van Universiteitsbibliotheek Leiden.)

toegankelijk, zijn „Opticae" in 1269. Omstreeks deze tijd beginnen verscheidene geleerden, o.a. Grosseteste en Roger Bacon (1214-1294) zich met de optica bezig te houden. Grosseteste doet het voorstel, lenzen te gebruiken om kleine dingen te vergroten en verre voorwerpen naderbij te brengen. Bacon oppert dat men de gezichtsscherpte bij ouderdomsvèrziendheid zou kunnen corrigeren door een glazen bolsegment. Inderdaad komen dan spoedig de eerste brillen, al zijn deze nog niet wetenschappelijk berekend en geconstrueerd (*fig. 19*). Zij moeten omstreeks 1280 zijn uitgevonden, want Arnald de Villanova vermeldt in zijn boek over de wijn, dat in dat jaar verschijnt, een „euphrasia", een wijn die het oog helder maakt en bevordert „dat men zonder oogglazen weer kleine letters kan lezen". De Venetiaanse reglementen van 1300 voor de cristalerii (glasblazers) vermelden eveneens „roidi da ogli" („schijfjes voor de ogen"). In de veertiende eeuw maakt men ze ook in Vlaanderen en Zeeland, dan wordt Beieren het centrum (Neurenberg, Augsburg, Regensburg). (Holle glazen voor bijzienden worden pas omstreeks 1450 voor het eerst vermeld, door Nicolaus van Cusa, en in 1518 voor het eerst afgebeeld.) Tot Kepler in zijn leerboek over de optica (Ad Vitellonem paralipomena, 1604) de verklaring van de werking van oog en bril geeft, geschiedt het maken van brillen zuiver empirisch, hoewel de vraag ernaar zeer sterk gestegen is na de uitvinding van de boekdrukkunst. In de zeventiende eeuw wordt de bril reeds algemeen gebruikt, doch pas een eeuw later bestuderen de artsen de optica behoorlijk. Franklin construeert in 1760 een bril in twee sterkten voor veraf en dichtbij zien. Cilindrische glazen voor correctie van het astigmatisme worden door Young berekend (1800) en hier te lande door Donders ingevoerd (1864). In de negentiende eeuw is de empirie zo ver verdrongen dat men een oogarts raadpleegt vóór men een bril koopt. In 1890 berekent Von Rohr het bekende „Punktal" glas voor Zeiss. Wat daarna nog op het gebied van brillen verandert, is minder een kwestie van wetenschap dan van mode.

Het glas onthult nieuwe werelden

Reeds vóór Kepler's genoemde leerboek verscheen, had Zacharias Jansen van Middelburg omstreeks 1590 een kijker gemaakt met een dubbelbolle voorwerpslens en een dubbel-holle lens als oogstuk. Prins Maurits ontving van hem in 1620 een binoculaire kijker. Ook in Italië maakte men tezelfdertijd verrekijkers. Galilei, geïnspireerd door een uit Holland geïmporteerde kijker, maakte er een in 1609 en zag details van het maanoppervlak, de satellieten van Jupiter, de fazen van Venus en de zonnevlekken, die hij beschreef in zijn „Nuncius Sidereus" van 1610.

Omstreeks 1620 verschijnen de eerste microscopen ten tonele. In 1667 publiceert Robert Hooke zijn „Micrographia", doch zijn lenzenstelsels waren zwakker dan de enkelvoudige lenzen die Anthonie van Leeuwenhoek sleep uit glasbolletjes en waarmede hij soms vergrotingen van meer dan 200× bereikte! De methodes, waarmee Van Leeuwenhoek zijn uitstekende lensjes wist te slijpen, heeft hij helaas nooit bekendgemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De zeventiende eeuw schiep de wiskunde, nodig voor het berekenen van lenzenstelsels en lenzen, en de lichttheorieën waarop de optische grondwetten konden worden gebaseerd. Descartes, de schepper van de voor de praktische optica zo nuttige analytische meetkunde, gaf in zijn „Dioptrique" (verschenen als aanhangsel van zijn „Discours de la Méthode", Leiden 1638) een afleiding van de brekingswet van Snellius (1621). Grimaldi schreef in 1665 een uitvoerige studie over terugkaatsing, breking en diffractie van het licht. Christiaan Huygens, die met zijn broer Constantijn zelf lenzen maakte (*fig. 20* en *21*), legde zijn golftheorie van het licht neer in de overigens zuiver geometrisch-optische „Dioptrica", waaraan hij van 1652 tot 1692 werkte. Newton's emissietheorie van het licht werd beschreven in zijn „Optics" van 1704.

De lenzen die deze onderzoekers gebruikten, moesten zij grotendeels zelf maken. Goede instrumentmakers, zoals Eustachio Divini (1620-1695 in Italië) en Christopher Cock (1660-1696 te Londen), waren er nog weinig. Spoedig begint de strijd tegen de lensfouten, zowel de intrinsieke (sferische aberratie, vertekening, astigmatisme, kleurschifting enz.) als de glastechnische. Descartes had reeds in zijn „Géométrie" afgeleid dat de sferische aberratie door lenzen met elliptische en hyperbolische oppervlakken gecorrigeerd zou kunnen worden, doch hiertoe waren de toenmalige slijpbanken niet in staat [8]). Men behielp zich dan maar met lenzen van grote brandpuntsafstand, dus zeer lange kijkers, waarbij die fout minder invloed heeft. Wat de kleurschifting betreft, meende Newton nog dat deze niet te verhelpen was, doch Klingenstierna te Uppsala berekende in 1760 dat een combinatie van convexe en concave lenzen van verschillende glassoorten (met verschillende brekingsindex) de oplossing zou brengen. Intussen had Chester Moor Hall dit in 1733 empirisch gevonden en John Dollond, instrumentmaker, kreeg voor zulke lenzencombinaties in 1758 een octrooi. Hij bracht ze in de handel, doch pas ca. 70 jaren later werden ze algemeen in microscopen toegepast.

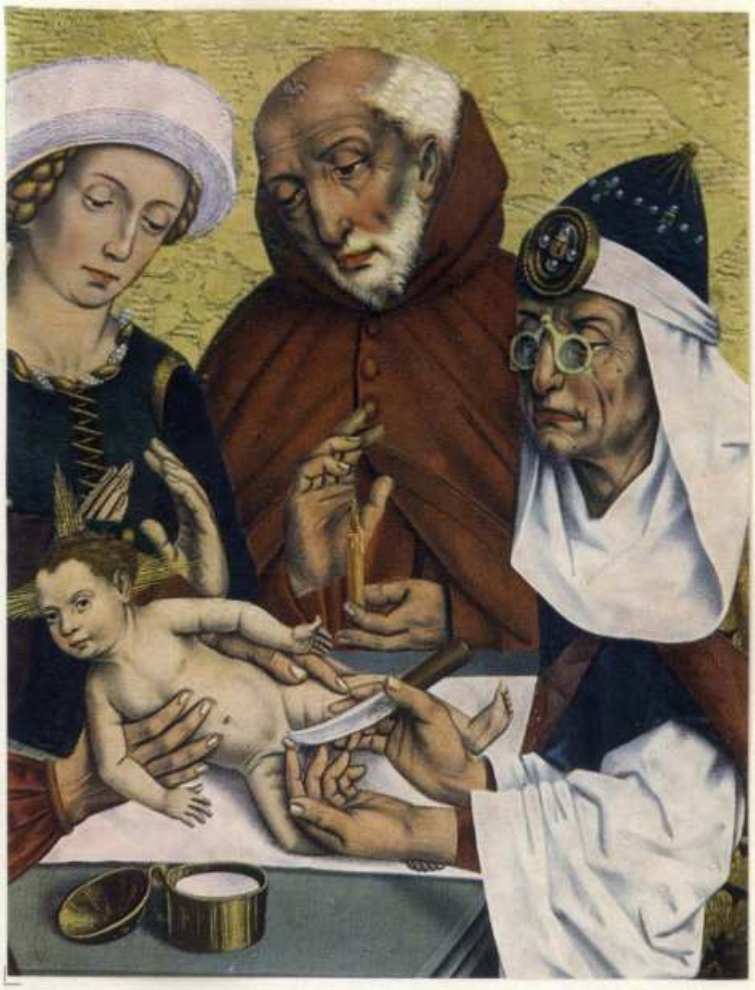


Foto Ohmeyer

Fig. 19. Gedeelte van een schilderij van Friedrich Herlin (Besnijdenis Christi) op een altaar van de St.-Jakobskerk te Rothenburg ob der Tauber, van 1466, met de voorstelling van een persoon die een bril draagt. Op de Predella van hetzelfde altaar heeft de schilder ook de apostel Petrus met een bril voorgesteld. In beide gevallen betreft het een „scharnierbril", van vrijwel precies dezelfde uitvoering als meer dan 100 jaar eerder (1352) door Tommaso Barisino in een fresco te Treviso werd weergegeven. (Gereproduceerd met toestemming van de Custos der St.-Jakobskerk te Rothenburg.)

De glastechnische fouten waren vooral: slechte oppervlakken en inhomogeniteiten. In het bestrijden van deze gebreken, waarop we nu nader zullen ingaan, evenals in het zojuist al aangestipte toepassen van glassoorten met bepaalde optische eigenschappen, komt vooral de wisselwerking van natuurwetenschap en glasindustrie tot uiting waarop we hierboven doelden.

Beter glas en nieuwe instrumenten

Verbetering in de afwerking en het polijsten van lenzen werd bereikt toen in de achttiende eeuw in Frankrijk en Engeland een reeks belangrijke in-

[8]) C. A. Crommelin, Het lenzen slijpen in de 17de eeuw, H. J. Paris, Amsterdam 1929.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

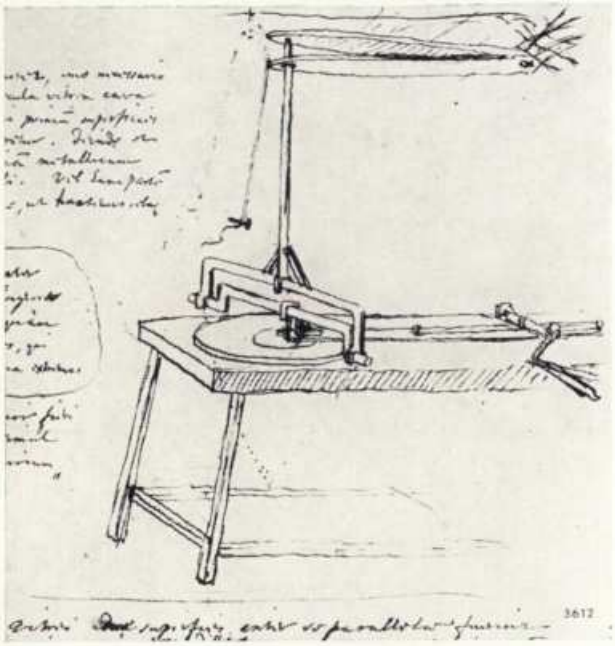


Fig. 20. Lenzenslijpmachine, ontworpen door Christiaan Huygens. Op de tafel een slijpvorm, die in draaiing wordt gebracht en waarop door een juk en een aan de zoldering opgehangen houten veer de tegengesteld roterende lens wordt gedrukt. Tekening uit handschrift van Huygens van begin mei 1692. (Gereproduceerd met toestemming van Universiteitsbibliotheek Leiden.)

strumentmakers zich op lenzenstelsels toelegden. In de negentiende eeuw voegden de Duitsers zich bij hen. Tot een betere kwaliteit van het glas zelf heeft vooral de Zwitser Pierre Louis Guinand (1748-1824) bijgedragen. Geïnspireerd door het roeren van „fondu" (warme kaas met wijn), zocht hij naar middelen om de glasmassa in de smeltkroes te homogeniseren; hij vond ten slotte de roerder uit, een cilinder van vuurvaste steen (1805). Door de fabrikant Utzschneider werd hij naar Benediktbeuren geroepen, om daar samen te werken met Von Fraunhofer (1787-1826). Deze onderzocht spectrometrisch allerlei glassoorten en ontwierp glaslijpmachines en controle-instrumenten. Guinand's zoon Henri stichtte in 1832 te Parijs een fabriek voor het vervaardigen van optisch glas. Hij verkocht zijn „know-how" voor 3000 frs. aan Bontemps, de belangrijkste glastechnoloog van het midden van de vorige eeuw. Bontemps associeerde zich later met de Chance Brothers Glass Company te Birmingham, welke fabriek in 1838 octrooi op de nieuwe procédé's kreeg.

De wetenschap begon nu in verschillende landen belangstelling te tonen voor de glasindustrie. Op instigatie van de Royal Society bestudeerde Faraday de werkwijzen van de Falcon Glass Works, terwijl Harcourt met behulp van de nieuwe chemische methodes glassoorten onderzocht en titaan- en boriumglas maakte. Intussen had Dumas een belangrijk onderzoek over samenstelling en verwerking van sodaglas gepubliceerd (1830), en geleidelijk vorderde men op de weg van de moeilijke silicaat-analyses. De opkomende chemische industrie leverde nu zuivere grondstoffen, sinds 1790 was er b.v. zuivere soda op de markt, die het onzuivere natuurprodukt verdrong.

Met de verbeterde kwaliteit lenzen kon pas ten volle profijt worden getrokken van de achromatisering van de microscoopobjectieven: een rijke

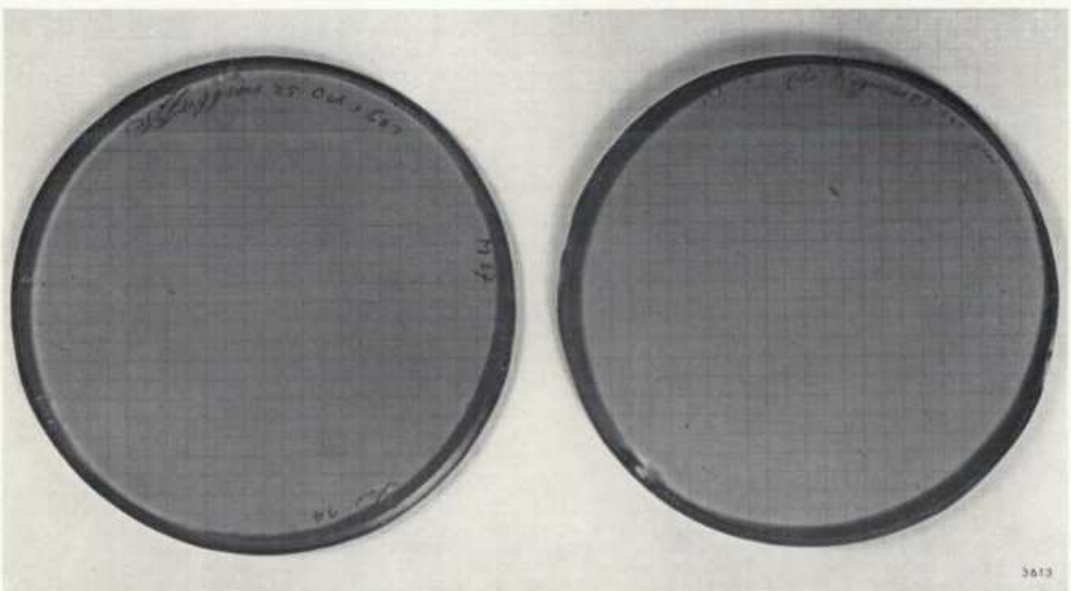


Fig. 21. Telescooplenzen, geslepen en gesigneerd door Constantijn en Christiaan Huygens, 1683. Een ruitje van het ondergelegde papier is 5 mm. Door de grote brandpuntsafstand is geen vervorming van het ruitjespatroon te zien. De lenzen zijn van een groenachtig glas gemaakt: door afsnijding van de rode en blauwe einden van het spectrum had men minder last van de chromatische afbeeldingsfouten! (Gereproduceerd met toestemming van Rijksmuseum voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Leiden.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

oogst van biologische en medische ontdekkingen werd in de jaren 1830 tot 1880 binnengehaald. Ook talrijke nieuwe optische instrumenten ontstonden omtrent deze tijd. Hoe belangrijk deze nieuwe instrumenten voor wetenschap en industrie waren, moge duidelijk worden uit een opsomming der voornaamste:

1) De polarimeter, geschapen door Nicol (1833, 1840) en verbeterd door Savart en anderen.
2) Verwant hieraan, de saccharimeter van Biot (1842), die na een reeks verbeteringen in 1874 zijn definitieve vorm krijgt.
3) De primitieve refractometer van de Duc de Chaulnes (1767) wordt door Abbe herschapen in een precisie-instrument (1872).
4) Uit de interferentie-apparatuur van Fresnel (1822), Brewster (1831) en anderen groeit de moderne interferometer van Pérot en Fabry (1899) en van Lummer en Guericke (1901).
5) De spectroscoop, door Meyerstein (1856) als laboratoriuminstrument ingevoerd, wordt door Bunsen en Kirchhoff gebruikt voor chemische analyses (1861).

En weer zien we de terugwerking op de glasindustrie. In 1876 wezen Abbe en Von Helmholtz erop dat de bruikbaarheid van optische instrumenten werd bepaald door de kwaliteit van lenzen en prisma's, maar óók door de optische eigenschappen van het gebruikte glas. Schott, die reeds naar nieuwe glassoorten zocht met betere optische eigenschappen, sloot in 1884 met Abbe en met Carl en Roderich Zeiss een contract om samen te werken in de glasfabriek te Jena. Toen waren slechts de optische eigenschappen van een tiental glassoorten bekend; binnen enkele jaren beproefden zij een dertigtal nieuwe elementen als toevoeging of vervanging van het oude gamma van zeven elementen voor de bereiding van glas. Schott's catalogus van 1902 bood niet minder dan 80 optische glassoorten aan.

Flessen en lampeglazen

Terwijl door de vooruitgang van de scheikunde de glasbereiding gaandeweg op een wetenschappelijke basis was geplaatst, en terwijl Abbe en Zeiss, steunend op de theoretische ondergrond die de voorgaande generaties geleverd hadden, het moderne optische glas schiepen, begon de glasindustrie ook in haar werkwijze een metamorfose te ondergaan: de 19de eeuw, met de opkomende massafabricage, bracht hier als op zoveel andere gebieden het idee van de mechanisatie. Een dankbaar object hiervoor waren de voor ontelbare doeleinden verlangde glazen buizen en flessen. Tussen 1859 en 1893 werden vele octrooien verleend voor semi-automatische machines voor het blazen van flessen, waarvan die van Ashley het meeste succes had. De volledige automatisering van de flessenmachine was het werk van de Amerikaan Owens, die in 1898 zijn „hand-gun" ontwierp om de juiste dosis glas uit de oven te nemen en die tot een fles uit te blazen. Owens construeerde met Libby tussen 1899 en 1904 een volledig automatische flessenmachine met 6-15 armen, die honderden flessen per uur leverde [9]).

Fig. 22. Miniatuur, gecomponeerd in beginletter L, uit een Passionale (boek over het lijden van heiligen en martelaren) uit de 12de eeuw, afkomstig uit de abdij van Hirsau: de in het baptisterie slapende priester Lucianus ontvangt van Gamaliël aanwijzingen voor het vinden van de beenderen van de martelaar Stephanus (415 na Chr.). Boven de slapende Lucianus is een lamp in glazen omhulsel afgebeeld. (Gereproduceerd met toestemming van Landesbibliothek Stuttgart; zie ook: K. Löffler, Schwäbische Buchmalerei in romanischer Zeit, Augsburg 1928.)

Glas werd al in de Oudheid voor lampen gebruikt: het woord „candela", thans na een begripstransformatie behorend tot het dagelijkse vocabulaire van de lichttechnicus, duidt oorspronkelijk een glazen olielampje aan. Hierin diende het glas als vervanging van het voordien gebruikte keramische materiaal voor het oliereservoir. Maar omstreeks de zevende eeuw na Chr. is er ook al

[9]) W. C. Scoville, Revolution in glass-making 1880-1920, Harvard Univ. Press, Cambridge 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sprake van het doorzichtige glas om olielamp of kaars in draagbare „lantaarns" tegen de wind te beschermen. Vele middeleeuwse afbeeldingen tonen dit gebruik van glas als omhulsel van het licht (*fig. 22*). In het begin van de negentiende eeuw kwam de massafabricage van lampeglazen aan de orde, die nodig waren als schoorstenen voor de nieuwe olie-, petroleum- en patentolielampen. Argand moest in 1785 nog naar Engeland gaan om glasblazers te vinden die ze konden maken, doch rond 1840 was de fabricage ervan in geheel Europa op gang, en de uitvinding van de gasgloeikous in 1883 schiep een nieuwe uitbreiding van de markt. Omstreeks 1900 werd deze fabricage ook gemechaniseerd. De Schott-fabrieken te Jena, die voor dit produkt hun nieuwe, hittevaste, borosilicaatglas toepasten en 40 millioen lampeglazen per jaar maakten, hadden vooral aan deze fabricage hun grote groei te danken.

Door de Corning Glass Works waren in 1879 ballons geblazen voor Edison, die zijn eerste elektrische gloeilampen twee jaren later op de markt kon brengen (*fig. 23*). Dit was het begin van de moderne gloeilampenfabricage. Thans worden er ten behoeve hiervan door moderne ballonblaasmachines duizenden of tienduizenden ballons per uur vervaardigd [10]), in een fabricagegang die enigszins verwant is aan die van de flessenmachine — reden waarom we in dit hoofdstukje flessen en „lampeglazen" in één pot konden gooien.

De generaties van de laatste eeuw zijn getuige geweest van de geboorte van zoveel nieuwe toepassingen van glas dat we hier ons min of meer gedetailleerd relaas moeten staken. Bereiding en applicatie van glas staan in deze tijd geheel in het teken van het wetenschappelijke onderzoek. Het scheikundig onderzoek leidde tot een vergelijkende analyse van silicaten in het algemeen en een dieper inzicht in de structuur van glas. Het natuurkundig onderzoek reikte verder dan de optische eigenschappen alleen. Men begon belang te stellen in de viscositeit van glas en in de thermische eigenschappen zoals de uitzetting, welke van belang zijn voor het aan elkaar verbinden van glas en metaal, dat in gloeilampen en zo vele instrumenten en apparaten voorkomt. Onderzoek van de elektrische eigenschappen maakte het gebruik van glas als isolator in elektrische apparaten mogelijk. Kennis van de mechanische eigenschappen maakte glas tot een modern bouwmateriaal, werk over de doorlating van warmte en licht

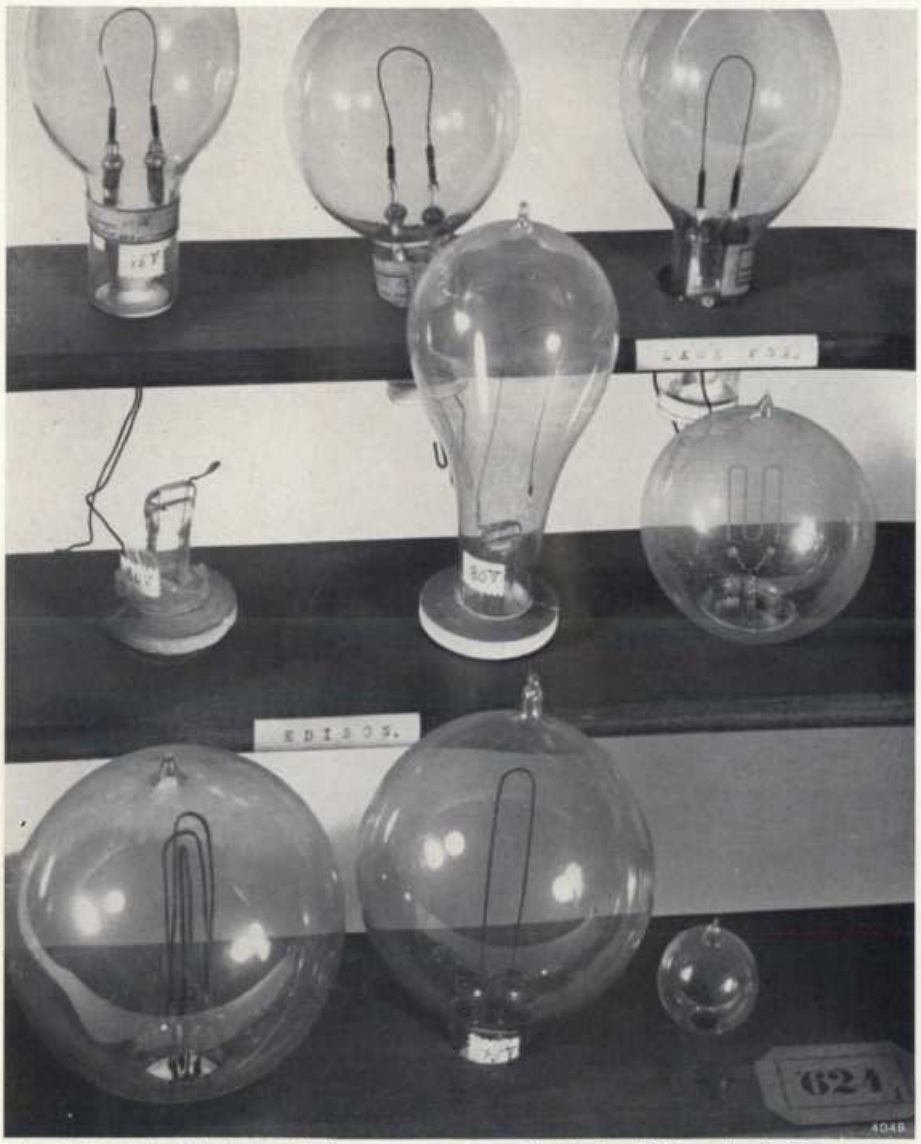


Fig. 23. Enkele elektrische gloeilampen van een collectie, in 1881 op de Parijse tentoonstelling voor elektrotechniek aangekocht door Teyler's Stichting. De gehele collectie omvat 20 lampen, vervaardigd door Edison, Swan, Lane Fox en Siemens. (Gereproduceerd met toestemming van Teyler's Museum, Haarlem.)

[10]) Zie het artikel van P. van Zonneveld in dit nummer.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

opende mogelijkheden voor toepassing van glas ter isolatie in gebouwen. Door sinteren van glaspoeder bracht men het in een „schuim"-vorm; door het spuiten en verspinnen van draden leerde men het als „wol" en „weefsel" verwerken. Van hier leiden weer „draden" naar een nieuw gebruik als constructiemateriaal (glasvezels als wapening van polyesters en derg.) en, merkwaardig genoeg, terug naar de optiek („fibre optics" [11])). Het is een boeiend beeld, het glas aldus te volgen in zijn ontwikkeling, van een grondstof voor een dichtend laagje op aardewerk of voor het maken van imitatie-edelstenen, tot een universeel materiaal, met een zich steeds uitbreidend gamma van toepassingen.

[11]) Zie b.v. B. O'Brien, Physics to-day **13**, 52, 1960 (no. 1).

Literatuur (enkele aanbevelenswaardige en gemakkelijk verkrijgbare boeken):

R. Schmidt, Das Glas, uitg. Reimer, Berlijn 1922.
O. Völckers, Glas und Fenster, Bauwelt-Verlag, Berlijn 1939.
W. B. Honey, Glass, Victoria and Albert Museum, Londen 1946.
C. J. Phillips, Glass the miracle maker, Pitman, Londen 1948.
W. Schnauk, Glaslexikon, Callwey, München 1959.
B. Kollak, Glas, Technik und Kunst, Winkler, Darmstadt 1937.

Samenvatting. Overzicht van de geschiedenis van glas tot ongeveer 1900, voornamelijk uit een oogpunt van de applicaties. In het oude Egypte en in Mesopotamië kende men verschillende technieken van glazuren en van glas, waarbij deze materialen in hoofdzaak voor decoratieve doeleinden werden toegepast. De uitvinding van het blazen van glas, in Foenicië omtrent 50 voor Chr., leidde spoedig tot een massafabricage van glazen voorwerpen, o.a. als tafelgerei, en tot een uitbreiding van de glasindustrie over grote delen van Europa. Na een korte schets van de ontwikkeling der glastechnologie, waarbij Arabische, Venetiaanse en andere produkten ter sprake gebracht worden, bespreekt schrijver in een reeks korte hoofdstukken de ontwikkeling van de toepassing van glas voor de scheikunde en de geneeskunde, voor vensters, spiegels en gebrandschilderde ramen, de uitvinding van bril, kijker en microscoop, en aansluitend de ontwikkeling van het optische glas en van vele nieuwe optische instrumenten in de vorige eeuw. Hierbij wordt getracht te tonen hoe de glasfabricage en het gebruik van glas geleidelijk op een meer wetenschappelijke basis zijn geplaatst. Tot slot wordt de mechanisatie van de fabricage van flessen en van gloeilampenballons besproken. De talloze nieuwe toepassingen die het glas in de laatste 50 jaar gevonden heeft, worden slechts even aangestipt.

Arts met bril en urinaal. Deel van een houtsnede uit Heidelberger Dodendans, eind 15de eeuw.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

NIEUWE INZICHTEN IN DE STRUCTUUR VAN GLAS

door J. M. STEVELS.

666.11.01:539.213.1

Inleiding; theorie van Zachariasen

De voorstelling die wij ons tegenwoordig maken van de structuur van glas is in menig opzicht verschillend van de voorstelling die door Zachariasen in zijn klassiek geworden werk gegeven is [1]). Vooral om een aantal fysische eigenschappen van glas te kunnen begrijpen, is het structuurbeeld op verschillende punten herzien en verfijnd. Dit wordt hier in een drietal hoofdstukken toegelicht.

In elk hoofdstuk wordt een ander aspect van de structuur bekeken. In het eerste hoofdstuk is het de samenhang der atomen in glas die de aandacht heeft. Wij komen er o.m. tot de conclusie dat de glasachtige toestand onder andere voorwaarden kan optreden dan vroeger voor mogelijk werd gehouden. Het tweede hoofdstuk brengt ons tot de slotsom dat glas niet het homogene en amorfe materiaal is waarvoor men het lange tijd heeft aangezien. Het laatste hoofdstuk handelt over nieuwe inzichten in de structuur van glas waarbij men zich heeft laten inspireren door het, voor glas wat vreemd lijkende, begrip van de roosterfouten, die zo belangrijk zijn gebleken in de fysica van de kristallijne stof.

Aan het verbeterde inzicht in de structuur van glas is het te danken dat allerlei nieuwe toepassingen mogelijk geworden zijn; ook kon een categorie glazen worden ontwikkeld die op essentiële punten afwijkt van de conventionele. Voordat wij deze resultaten van het glasonderzoek uit de laatste jaren nader bezien, volgt hier in beknopte vorm de theorie van Zachariasen.

Volgens Zachariasen strekt zich door de gehele massa van glas een ongeordend driedimensioneel netwerk uit. Dit netwerk moet men bij de normale, uit anorganische oxydes samengestelde glassoorten opgebouwd denken uit polyeders (tetraëders of driehoeken) van zuurstofionen. In de centra van deze zuurstofpolyeders bevinden zich in de regel hooggeladen ionen, zoals b.v. Si^{4+}-, B^{3+}- of P^{5+}-ionen. Omdat deze hooggeladen ionen samen met de zuurstofionen het netwerk vormen, worden ze netwerkvormende ionen genoemd. De zuurstofionen komen in twee soorten voor: de zg. brugzuurstofionen, die ieder behoren tot twee polyeders, en de zg. zwevende zuurstofionen, die ieder slechts bij één polyeder behoren. Het zal duidelijk zijn dat de mate van samenhang tussen de polyeders, en dus van het netwerk, bepaald wordt door het percentage brugzuurstofionen. Het netwerk heeft een overschot aan negatieve lading; dit wordt gecompenseerd door netwerkwijzigende ionen, die zich in de holten van het netwerk bevinden. Dit zijn doorgaans grote metaalionen met een kleine positieve lading, zoals b.v. Na^{+}-, K^{+}- of Ca^{++}-ionen. In de conventionele glazen oefenen ze weinig invloed uit op het netwerk, vergeleken met de netwerkvormende ionen. Toch kan men hun invloed niet geheel verwaarlozen, en vandaar dus hun naam.

Wij geven tot besluit van deze inleiding een tweedimensionele voorstelling van de structuur van een anorganisch oxydeglas volgens de opvatting van Zachariasen (*fig. 1*).

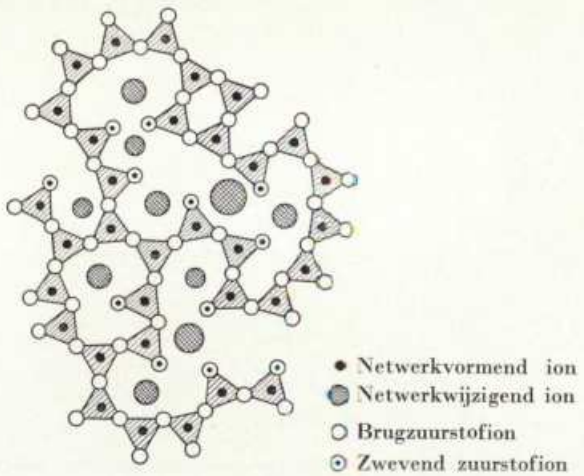


Fig. 1. Schematische tweedimensionele voorstelling van de structuur van glas, volgens de opvatting van Zachariasen [1]).

De structuurparameter *Y* en zijn invloed op de eigenschappen van glas

Om verschillende fysische eigenschappen van glas te begrijpen, is het nuttig het volgende viertal grootheden in te voeren:

X = gemiddeld aantal zwevende zuurstofionen per polyeder,

Y = gemiddeld aantal brugzuurstofionen per polyeder,

Z = gemiddeld totaal aantal zuurstofionen per polyeder,

R = verhouding van het totale aantal zuurstofionen tot het totale aantal netwerkvormende ionen.

[1]) Zie voor een uitvoeriger bespreking van de theorie van Zachariasen en ook voor inzichten uit de jaren 1940-1950: J. M. Stevels, De glasachtige toestand, Philips techn. T. **8**, 231-237, 1946 en J. M. Stevels, De structuur van glas, Philips techn. T. **13**, 271-279, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Er bestaan tussen deze grootheden twee eenvoudige relaties, die men gemakkelijk vinden kan door de ionen af te tellen:

$$X + Y = Z, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$
$$X + \tfrac{1}{2}Y = R, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

of

$$X = 2R - Z, \quad \ldots\ldots \quad (3)$$
$$Y = 2Z - 2R. \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Het totale aantal zuurstofionen per polyeder Z is in de regel bekend (bij fosfaat- en silicaatglas is $Z = 4$), R is meestal uit de samenstelling te berekenen, en dus heeft men in het algemeen geen moeite met het bepalen van de grootheden X en Y.

Voor kwartsglas, dat zoals men weet de chemische formule SiO_2 heeft, is $Z = 4$ en $R = 2$; hieruit volgt dat $X = 0$ en $Y = 4$. Voor glas met de formule $Na_2O.SiO_2$ is $R = 3$ en $Z = 4$, en dus $X = 2$ en $Y = 2$. Evenzo berekent men b.v. voor glas van de samenstelling 15% Na_2O.85% SiO_2 ($R = 1{,}85/0{,}85 = 2{,}175$ en $Z = 4$) dat $X = 0{,}35$ en $Y = 3{,}65$.

Niet altijd is de situatie zo eenvoudig als hier geschetst. Sommige glazen bevatten ionen die zich niet als typisch netwerkvormende of netwerkwijzigende ionen doen kennen, maar die *zowel in als tussen* de zuurstoftetraëders (of -driehoeken) voorkomen. Hoe het „evenwicht" in zo'n geval ligt, hangt af van de samenstelling van het glas en van de condities waaronder het gevormd werd. Het zal duidelijk zijn dat in zulk een situatie alleen gesproken mag worden van netwerkvormende of netwerkwijzigende ionen indien de ligging van het „evenwicht" onder vrijwel alle omstandigheden naar één kant verschoven is. In het andere geval spreekt men van weifelaars („intermediates"). Het betreft hier o.m. ionen als Co^{++}, Ni^{++}, Pb^{++} en in sommige gevallen Ca^{++} en Ba^{++}.

Bij aanwezigheid van weifelaars zal men R in het algemeen niet exact kunnen bepalen, daar de ligging van het genoemde evenwicht meestal onbekend is. Wat men dan in de praktijk doet, is in bovenstaande formules de weifelaars meetellen met de netwerkwijzigende ionen. Dit betekent natuurlijk wel dat de waarden van Y die men op deze wijze berekent (Y_c), zullen afwijken van de werkelijke waarden (Y_r). Het is niet moeilijk in te zien dat Y_c kleiner zal uitvallen dan Y_r. Wij geven hieronder een voorbeeld hiervan.

De kennis van de waarde van Y, het gemiddelde aantal brugzuurstofionen, is van groot belang. Het verrassende feit doet zich nl. voor dat talrijke eigenschappen van glas in eerste benadering uitsluitend een functie van Y zijn. In het algemeen wordt de ruimtelijke samenhang van het netwerk geringer naarmate Y kleiner wordt: de bouw wordt losser en hiermee gaat gepaard dat er grotere tussenruimten ontstaan. Als gevolg hiervan zullen de netwerkwijzigende ionen zich gemakkelijker kunnen bewegen, zowel bij het oscilleren in hun eigen holte als bij het zich verplaatsen tussen de mazen van het netwerk door, al springend van gat tot gat. Zo vindt men bij een afnemende waarde van Y een toenemende thermische uitzettingscoëfficiënt, een toenemend elektrisch geleidingsvermogen, een afnemende viscositeit, en hiermee parallel lopende veranderingen bij allerlei relaxatieverschijnselen [2]).

De invloed van Y op enige eigenschappen van glas blijkt uit *tabel I*. Hoewel de samenstelling van telkens twee der in de tabel genoemde glasachtige systemen in chemisch opzicht geheel verschillend is, hebben ze dezelfde waarden voor Y, en als gevolg hiervan hebben ze vrijwel dezelfde fysische eigenschappen.

Tabel I. Ter illustratie van de invloed van Y, het gemiddelde aantal brugzuurstofionen per polyeder, op de „smelt"-temperatuur (temperatuur waarbij de viscositeit de waarde 10^2 poise bereikt) en de uitzettingscoëfficiënt α van glazen.

Samenstelling	Y	„smelt"-temp. °C	$\alpha \times 10^7$
$Na_2O.2SiO_2$	3	1250	146
P_2O_5	3	1300	140
$Na_2O.SiO_2$	2	1050	220
$Na_2O.P_2O_5$	2	1100	220

Verhoging van het gehalte aan metaaloxyde in glazen zal in het algemeen een verlaging van Y ten gevolge hebben. Bij het samensmelten van metaaloxydes en kwartsglas vormt zich nl. een Si-O-netwerk dat van het netwerk van kwartsglas daardoor verschilt dat op verscheidene plaatsen een brugzuurstofion vervangen is door twee zwevende zuurstofionen. De extra zuurstof, nodig voor deze vervanging, is geleverd door het metaaloxyde. Men zal hieruit kunnen begrijpen dat er meer zwevende zuurstofionen gaan optreden en Y kleiner wordt naarmate meer metaaloxyde bij de glasvorming wordt gebruikt. Met behulp van deze kennis kunnen we aan glas — binnen zekere grenzen — de eigenschappen geven die we voor een bepaald doel wensen.

De boriumanomalie

Overigens is het niet altijd zo dat een verhoging van het gehalte aan metaaloxyde in glas een vermindering van Y ten gevolge heeft. Een voorbeeld hiervan vindt men bij zuivere boraatglazen. Bij het samensmelten van metaaloxyde en B_2O_3 wordt (aanvankelijk) de zuurstof van het metaaloxyde niet als zwevend zuurstofion opgenomen. De opneming van deze zuurstof vindt plaats door een omzetting van zuurstofdriehoeken in zuurstoftetraëders, geheel bestaande uit brugzuurstofionen.

Dit houdt in dat verhoging van het gehalte aan metaaloxyde bij deze glazen een toeneming van Y en derhalve een versteviging van het netwerk met zich meebrengt. Dienovereenkomstig veranderen

[2]) Voor deze laatste zie b.v. J. M. Stevels, Diëlektrische verliezen in glas, Philips techn. T. **13**, 377-382, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verscheidene fysische eigenschappen in juist tegengestelde richting als bij vergelijkbare silicaatglazen onder dezelfde omstandigheden. Dit is de zg. „boriumanomalie". Men is gewend het gebied van samenstellingen waarin dit optreedt, aan te duiden als het opbouw- of accumulatiegebied van boraatglazen.

De zojuist genoemde omzetting van zuurstofdriehoeken in zuurstoftetraëders blijkt aan zekere regels gebonden te zijn, waardoor aan de „opbouw" een grens gesteld wordt [3]). Deze regels luiden aldus:
a) Elke driehoek mag met ten hoogste één tetraëder samenhangen.
b) Tetraëders mogen onderling niet samenhangen. Dit betekent dat per tetraëder ten minste vier driehoeken aanwezig moeten zijn.

Bevat een boraatglas meer metaaloxyde dan met deze voorwaarde overeenkomt, dan zullen in dit glas, evenals bij de reeds besproken silicaatglazen, zwevende zuurstofionen zijn gevormd: de waarde van Y zal hierdoor bij toenemend gehalte aan metaaloxyde *afnemen*. Men spreekt hier van het afbraakgebied van boraatglazen.

Treffend komen in *fig. 2* de beschreven verschijnselen tot uitdrukking: de curve van de uitzettingscoëfficiënt α vertoont bij toenemend gehalte aan metaaloxyde eerst een daling en vervolgens een stijging, met een omkeerpunt juist bij de samenstelling waar de curve van Y een knik vertoont.

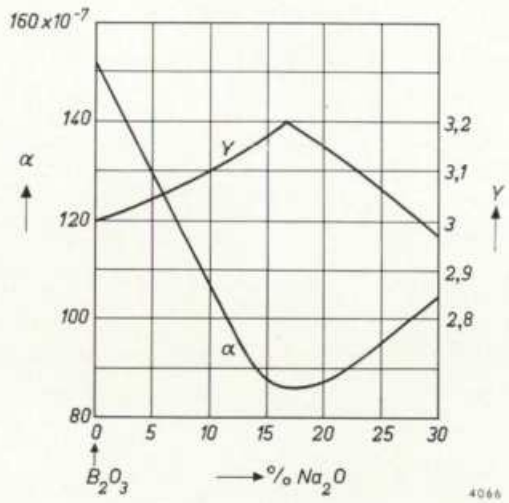


Fig. 2. Verband tussen Y, het gemiddelde aantal brugzuurstofionen per polyeder, en de uitzettingscoëfficiënt α van zuivere natriumboraatglazen. Beide grootheden zijn uitgezet tegen de samenstelling in mol.% Na_2O. De structuur met de grootste waarde van Y heeft de kleinste uitzettingscoëfficiënt.

Hoe goed theorie en praktijk in deze overeenstemmen, wordt nog duidelijker indien wij het bovenstaande met enige eenvoudige berekeningen toelichten. De theorie doet verwachten dat de overgang van opbouw- naar afbraakgebied plaatsvindt bij $Y = Z = 3{,}2$ en $X = 0$. Het netwerk bestaat in het grensgeval immers uit polyeders met drie en met vier zuurstofionen in de verhouding 4 : 1, alle brugzuurstofionen. De waarde $Y = 3{,}2$ geeft, nog steeds volgens de theorie, voor boraatglazen het hoogste bereikbare gemiddeld aantal brugzuurstofionen aan, de structuur zal dus bij deze waarde het stevigst zijn. De hiermee overeenkomende waarde van R is blijkens verg. (2) of verg. (3) gelijk aan 1,60, wat, in de chemische samenstelling uitgedrukt, correspondeert met $Na_2O.5B_2O_3$, of 16,7% Na_2O. 83,3% B_2O_3 (mol. percentages). Inderdaad zien wij in fig. 2 dat juist bij deze waarde het minimum van de uitzettingscoëfficiënt optreedt.

Veranderingen bij $Y = 3$

Interessant is voorts na te gaan wat er gebeurt indien Y gelijk wordt aan drie. Men zal kunnen begrijpen dat er ook bij het bereiken van deze waarde — voor *alle* anorganische oxydeglazen ditmaal — iets bijzonders te verwachten is. Immers, bij deze waarde gaan er polyeders optreden die nog slechts op twee contactpunten met hun omgeving verbonden zijn. Het overschrijden van deze waarde gaat daardoor gepaard met een meer of minder abrupte verandering van de stijfheid van het netwerk, en daarmee ook van de beweeglijkheid van de netwerkwijzigende ionen. Dit uit zich in allerlei fysische eigenschappen, zoals te zien is in de *figuren 3* en *4*. Deze figuren vertonen het elektrisch geleidingsvermogen van natriumsilicaatglazen en de vickershardheid [4]) van natriumboraatglazen als functie van de samenstelling (en van Y). Bij de silicaatglazen komt de waarde $Y = 3$ overeen met de chemische formule $Na_2O.2SiO_2$ (33,3% Na_2O.66,7% SiO_2), bij de boraatglazen met $2Na_2O.5B_2O_3$ (28,6% Na_2O. 71,4% B_2O_3). In beide figuren treft men knikpunten aan bij deze samenstellingen. In de laatste figuur vindt men ook het effect van de overgang van opbouw- naar afbraakgebied bij 16,7% Na_2O.

Invertglazen [5])

Zeer belangrijk zijn de veranderingen die optreden indien Y *kleiner dan 2* wordt. Er ontstaan dan structuren met het kenmerk dat de tetraëders ten hoogste twee contactpunten met hun omgeving hebben. Met andere woorden: de ruimtelijke samen-

[3]) T. Abe, J. Amer. Ceram. Soc. **35**, 284, 1952.

[4]) Voor het meten van de vickershardheid van materialen, zie b.v. E. M. H. Lips, Philips techn. T. **2**, 179, 1937.

[5]) Voor een uitvoerige studie van de invertglazen zie H. J. L. Trap en J. M. Stevels, Glastechn. Ber. **32**, 31, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hang is verloren gegaan, de structuur is opgebouwd uit ketens.

Indien men afziet van de mogelijkheid van ringvorming en van vertakking, zijn de ketens voor $Y = 2$ oneindig lang. Wordt Y kleiner, dan betekent dit dat er kortere ketens ontstaan. De gemiddelde „ketenlengte" $\bar{n}$, d.w.z. het gemiddelde aantal tetraëders, wordt gegeven door de formule:

$$\bar{n} = \frac{2}{2 - Y}, \text{ of } Y = 2 - \frac{2}{\bar{n}}. \quad . \; . \quad (5)$$

Y en $\bar{n}$ kunnen ook worden uitgedrukt in de chemische samenstelling. Heeft men b.v. een silicaatglas van de samenstelling $(100-p)M_2O.pSiO_2$, waarin p het mol. percentage voorstelt en M een algemeen symbool is voor een eenwaardig netwerkwijzigend ion, dan is:

$$Y = 6 - \frac{200}{p}, \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

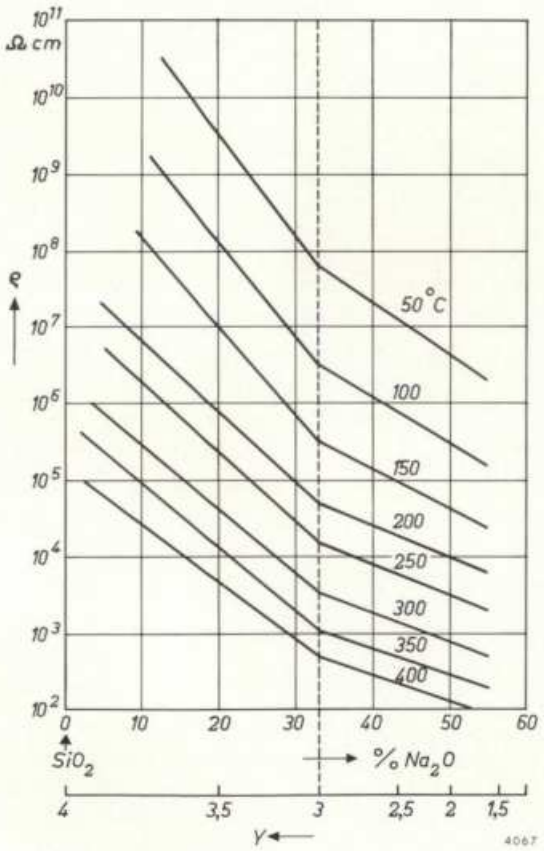


Fig. 3. Het elektrisch geleidingsvermogen ϱ van natriumsilicaatglazen bij verschillende temperaturen als functie van de samenstelling (in mol.% Na_2O) en van Y. Een waarde $Y < 3$ correspondeert met het optreden van tetraëders die nog slechts door twee brugzuurstofionen met het overige netwerk verbonden zijn. Het overschrijden van $Y = 3$ gaat daardoor gepaard met een discontinue verandering in de „stijfheid" van het netwerk, en daarmee ook van de beweeglijkheid van de netwerkwijzigende ionen. Dit verklaart het knikpunt in de krommen. (Overgenomen uit: E. Seddon, E. J. Tippett en W. E. S. Turner, J. Soc. Glass Technol. **16**, 450, 1932.)

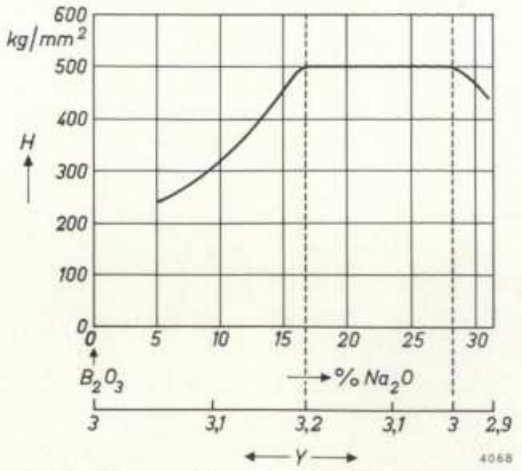


Fig. 4. De vickershardheid H van natriumboraatglazen als functie van de samenstelling in mol.% Na_2O. Zowel het omkeerpunt bij $Y = 3{,}2$ (16,7% Na_2O) als het effect bij $Y = 3$ (28,6% Na_2O) zijn aan de curve merkbaar. Vergelijk hiervoor ook resp. de fig. 2 en 3. (Volgens F. C. Eversteijn, J. M. Stevels en H. I. Waterman, Phys. and Chem. Glasses **1**, 134, 1960, no. 4.)

of

$$\bar{n} = \frac{p}{100 - 2p}. \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Uit deze formules volgt dat Y kleiner wordt dan 2 bij minder dan 50 mol.% SiO_2. De formules leren bovendien dat $\bar{n}$ zeer snel afneemt indien men beneden dit percentage komt. Zo is voor $p = 48$ $\bar{n} = 12$; voor $p = 45$: $\bar{n} = 4{,}5$; en voor $p = 40$ is $\bar{n}$ nog slechts 2. Wat men constateert, is dan ook dat de eigenschappen van deze glazen sterk afhankelijk zijn van hun samenstelling — sterker dan dit het geval is bij de eerder besproken glazen.

In de praktijk is het zeer moeilijk glazen met $Y < 2$ te realiseren. Bij een systeem als b.v. Na_2O-SiO_2 houdt de glasvorming geheel op indien het molaire gehalte aan Na_2O de waarde 50%, die aan $Y = 2$ beantwoordt, overschrijdt. Dit hangt ermee samen dat de structuur in losse ketens is uiteengevallen en dat er slechts één soort metaalionen in dit systeem aanwezig is. Beide omstandigheden bevorderen dat de metaalionen te zamen met de tetraëderketens zich bij het stollen van de smelt ordelijk rangschikken. Met andere woorden: er treedt kristallisatie op.

Om deze kristallisatie te voorkomen, kan men een kunstgreep toepassen: door gebruik te maken van *twee* soorten metaalionen, kan men het gebied van de glasachtige toestand naar kleinere waarden van Y verschuiven. De kristallisatie wordt nl. bemoeilijkt als er metaalionen *van verschillende grootte en lading* aanwezig zijn. Indien men met dit principe ver genoeg gaat, door b.v. vier of vijf verschillende metaalionen in een zelfde systeem aan te brengen, kan men tot zeer lage waarden van Y komen [6]).

[6]) Dit is voor boraatglazen niet onderzocht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

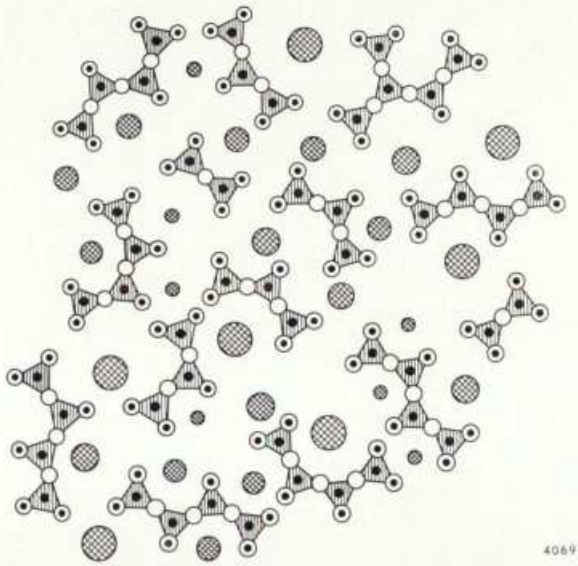


Fig. 5. Schematische tweedimensionele voorstelling van de structuur van een invertglas. Men vergelijke deze figuur met fig. 1, waarin ook de betekenis van de diverse cirkels is aangegeven. In plaats van een samenhangend geheel van zuurstofpolyeders met de metaalionen in de holten ertussen, als in fig. 1, vormen de zuurstofpolyeders in bovenstaande figuur „eilandjes" in een „zee" van metaalionen. Zulke glazen kan men alleen maken indien men daartoe metaalionen van verschillende grootte en lading gebruikt, waardoor kristallisatie wordt tegengegaan.

Een schematische voorstelling van een glas in dit gebied is gegeven in *fig. 5*. De gemiddelde ketenlengte is hier 3,5, hetgeen correspondeert met $Y = 1\frac{3}{7}$.

Men heeft de glazen met $Y < 2$ invertglazen genoemd, en wel om twee redenen. De eerste is dat men hier, vergeleken met de conventionele glazen, te maken heeft met een „geïnverteerde" structuur. Bij de conventionele glazen wordt de samenhang van de stof voornamelijk veroorzaakt door het Si-O-netwerk, de netwerkwijzigende ionen spelen hierbij slechts een ondergeschikte rol. Bij invertglazen is dit juist andersom. Er zijn slechts korte polyederketens, die als het ware zijn ingebed in een grote hoeveelheid metaalionen, en het zijn de krachten tussen deze metaalionen en de zuurstof van de ketens die in hoofdzaak de samenhang van de stof bepalen. De tweede reden van de benaming „invertglazen" is, dat ook enige fysische eigenschappen een „inversie" vertonen. Wij hebben gezien dat verschillende eigenschappen van de conventionele glazen bij afnemende Y zo veranderen als te rijmen valt met een afnemende samenhang in de structuur. In het gebied van de invertglazen is de invloed van de (korte) polyederketens gering, vergeleken bij die van de metaalionen. Naarmate deze bij afnemende Y meer de overhand krijgen, wordt de structuur juist steviger. Dienovereenkomstig, d.w.z. in tegengestelde richting als bij de conventionele glazen, veranderen ook een aantal fysische eigenschappen. Uiteraard zijn dat die eigenschappen die in hoofdzaak bepaald worden door de samenhang in de structuur, zoals b.v. de uitzettingscoëfficiënt, de viscositeit en de diëlektrische verliezen.

Als voorbeeld van deze inversie geven wij in de *figuren 6* en *7* als functie van Y de viscositeit (bij verschillende temperaturen) en de diëlektrische verlieshoek (bij verschillende molaire verhoudingen van de metaaloxydes).

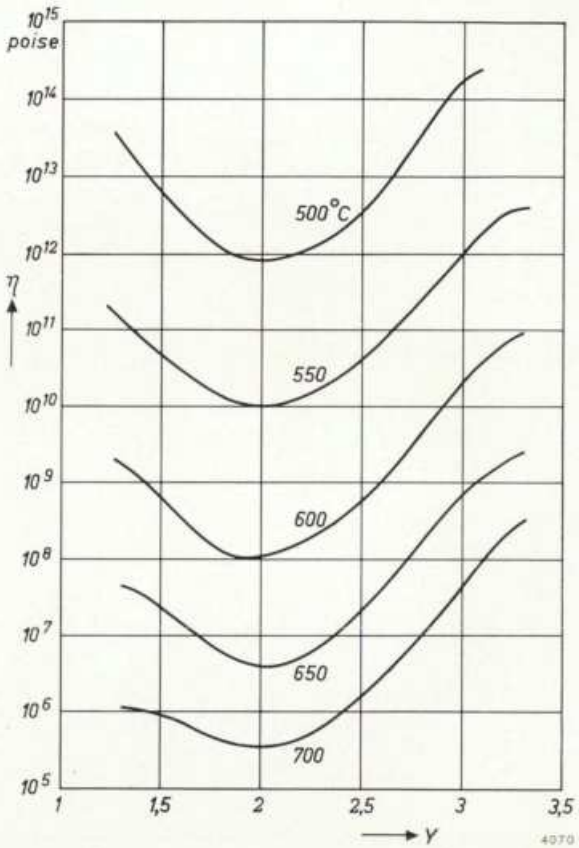


Fig. 6. Viscositeit van Na_2O-K_2O-CaO-SrO-BaO-silicaatglazen, met de temperatuur als parameter, als functie van Y (equimolaire hoeveelheden van de diverse metaaloxydes). De ommekeer in het verloop van de curven bij $Y = 2$ houdt verband met het feit dat bij $Y > 2$ de samenhang van de structuur in hoofdzaak bepaald wordt door de zuurstofpolyeders en bij $Y < 2$ door de metaalionen.

Heeft men een glas waarin veel weifelaars voorkomen, dan treedt de inversie op bij een voor Y berekende waarde, Y_c, die *kleiner is dan 2* (*fig. 8*), geheel in overeenstemming met hetgeen op blz. 313 in kleine letters besproken is. In de praktijk maakt men soms van dit verschil tussen de waargenomen en de theoretische waarde waarbij de inversie optreedt, gebruik om een schatting te maken van de verdeling van de weifelaars in netwerkvormende en netwerkwijzigende ionen.

Behalve uit theoretisch zijn invertglazen ook uit praktisch oogpunt van belang. Het is soms gewenst, b.v. voor glascondensatoren waarbij de eis is dat de capaciteit bij het in- en uitschakelen van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

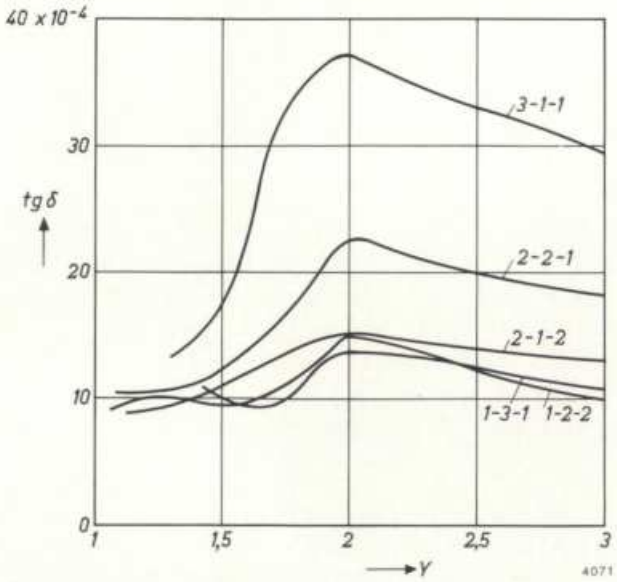


Fig. 7. De diëlektrische verlieshoek tg δ van K_2O-CaO-SrO-silicaatglazen als functie van Y, gemeten bij een frequentie van 1,5 MHz. De drie cijfers bij elke curve geven de verhouding aan van de metaaloxydes in de volgorde K_2O-CaO-SrO. Er treedt inversie op bij $Y = 2$.

de stroom maar weinig verloopt, glazen te fabriceren met een kleine temperatuurcoëfficiënt van de diëlektrische constante. Aan dit verlangen kan bijzonder goed worden voldaan met bepaalde invert-

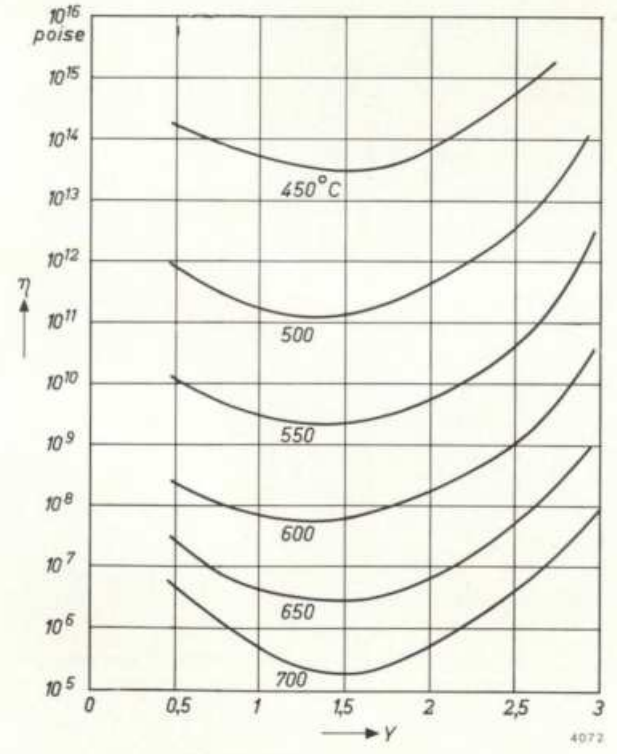


Fig. 8. Viscositeit van Na_2O-K_2O-MgO-CdO-ZnO-silicaatglazen, met de temperatuur als parameter, als functie van Y (equimolaire hoeveelheden van de diverse metaaloxydes). Door de aanwezigheid van zg. weifelaars (Mg^{++}-, Cd^{++}-, Zn^{++}-ionen) stemt de berekende waarde Y_c (die hier is uitgezet) niet overeen met de werkelijke waarde Y_r (die we niet kennen), en wel zal de eerste kleiner zijn dan de laatste. Vandaar dat de ommekeer van de curven (schijnbaar) bij een lagere waarde dan $Y = 2$ optreedt.

glazen. Voor de verlangde geringe temperatuurcoëfficiënt zijn namelijk o.m. gunstig een grote diëlektrische constante en kleine diëlektrische verliezen. (Voor een verklaring hiervan zij de lezer naar elders verwezen [7].) Nu zien we aan fig. 7 en aan *fig. 9* wat de invloed van de structuurinversie op de genoemde twee eigenschappen is: de diëlektrische verlieshoek wordt onder invloed van de structuurinversie kleiner, de diëlektrische constante daarentegen blijft monotoon toenemen. Deze laatste is kennelijk niet gevoelig voor de structuurinversie, en dit

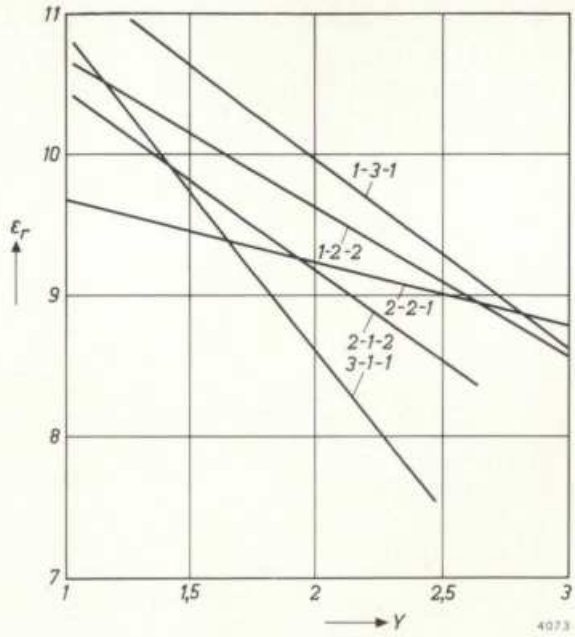


Fig. 9. De relatieve diëlektrische constante ε_r van K_2O-CaO-SrO-silicaatglazen als functie van Y, gemeten bij een frequentie van 1,5 MHz. De molaire verhoudingen van de metaaloxydes zijn op dezelfde manier aangegeven als in fig. 7. Er treedt géén inversie op. Dit komt doordat de diëlektrische constante niet afhangt van de samenhang van de structuur, doch uitsluitend van atomaire eigenschappen.

houdt verband met het feit dat deze eigenschap niet door de samenhang van de structuur bepaald wordt, maar uitsluitend de som is van atomaire eigenschappen (zoals ook het geval is met b.v. de dichtheid en de brekingsindex, die daardoor eveneens geen inversie vertonen).

Tot besluit van dit hoofdstuk merken wij op dat de ontwikkeling van de invertglazen in zekere zin een weerlegging vormt van de klassieke structuuropvattingen. Hierbij dacht men immers dat het bestaan van een ongeordend driedimensioneel netwerk noodzakelijk was voor de glasachtige toestand. Wij hebben echter gezien dat een dergelijk netwerk ge-

[7]) Zie b.v. M. Gevers en F. K. du Pré, Philips techn. T. **9**, 91, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heel mag ontbreken *mits ervoor gezorgd wordt dat de metaalionen een voldoende variatie van grootte en lading vertonen*. Zo blijkt dus dat wij de voorwaarde ter realisatie van een glasachtige toestand ruimer moeten stellen: terwijl bij de conventionele glazen de ongeordendheid van het netwerk de glasachtige eigenschappen veroorzaakt, is het bij de invertglazen de ongeordendheid van de metaalionen die tot de glasachtige eigenschappen leidt.

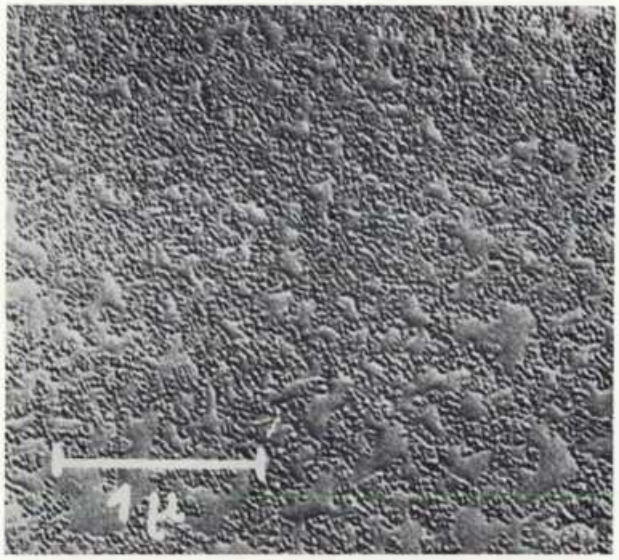
De opbouw van glas uit gebiedjes van verschillende structuur en samenstelling

De laatste jaren zijn langs experimentele weg aanwijzingen verkregen dat glas dat visueel homogeen schijnt, in werkelijkheid opgebouwd is uit kleine, onderling verschillende gebiedjes met afmetingen van 0,01-0,1 μ. Hoe deze gebiedjes ontstaan, is niet met zekerheid te zeggen. Men vermoedt dat ze zich in de vloeistoftoestand vormen, waarbij zich dan bepaalde fazen zouden uitscheiden. In bepaalde glazen kan men deze gebiedjes met een elektronenmicroscoop waarnemen, in andere is daartoe nog een warmtebehandeling nodig, waardoor de fazen zich beter scheiden (zie *fig. 10a, b*).

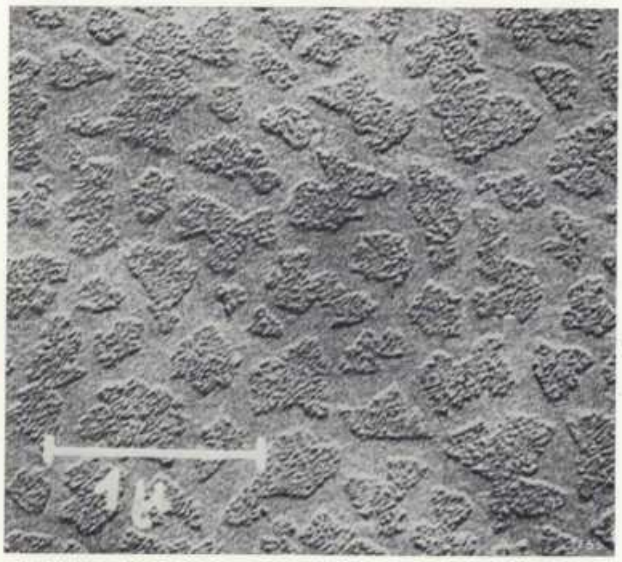
Dat deze gebiedjes zich door een verschillende chemische samenstelling onderscheiden, is — althans in vele gevallen — wel waarschijnlijk. Wat men overigens ook over de aard van deze gebiedjes moge denken, hun voorkomen betekent in ieder geval dat de oorspronkelijke voorstelling van een volkomen ongeordend netwerk dat zich door de gehele glasmassa uitstrekt, onmogelijk juist kan zijn. Voor zover zulk een netwerk bestaat, zal het zich telkens slechts over korte afstanden uitstrekken [8]).

In dit verband kunnen wij ook wijzen op verfijningen die van Russische zijde zijn aangebracht in het beeld dat men zich van de structuur maakt [9]). Ook volgens deze opvattingen zou de structuur niet die mate van ongeordendheid vertonen als de voorstelling van Zachariasen suggereert. Tot deze conclusie is men speciaal gekomen toen men de experimentele resultaten van de absorptie in het infrarood en van de röntgenverstrooiing onder kleine hoeken trachtte te interpreteren. Zo zou men in het netwerk vaak, naast gebiedjes met een „glasachtige" structuur in de oorspronkelijke zin, gebiedjes met een meer geordende structuur moeten aannemen. Deze „microkristallijne" gebieden, welke het karakter van sterk gedeformeerde kristalroosters zouden dragen, worden aangeduid als „kristallieten". Ze zouden via gebieden van geleidelijk afnemende ordening in elkaar overgaan. Hiermee zouden ook variaties in chemische samenstelling kunnen corresponderen. De beschreven situatie is schematisch weergegeven in *fig. 11a, b*, welke ontleend is aan Porai-Koshits [9]).

Wij merken als commentaar bij fig. 11*b* nog op dat naar onze mening de verschillende gebiedjes niet zulke uiteenlopende samenstellingen zullen hebben als hier wordt gesuggereerd. Dat er in glas gebiedjes naast elkaar zouden voorkomen die enerzijds zijn opgebouwd uit tetraëders met vier brugzuurstofionen (SiO_2) en anderzijds uit tetraëders met twee



a



b

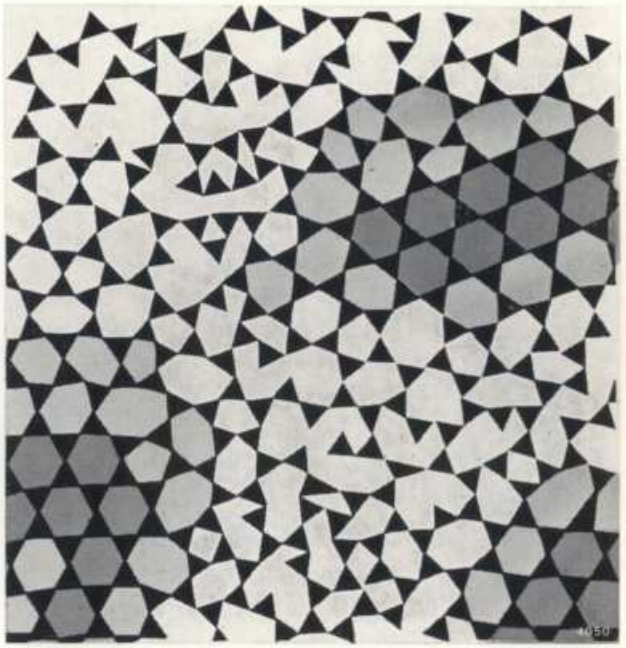
Fig. 10. Microfoto's van, voor het oog volkomen helder, natriumboraatglas, *a*) glas dat geen nabehandeling heeft ondergaan, *b*) glas dat 2½ uur op 500 °C getemperd is. (Overgenomen uit: W. Skatulla, W. Vogel en H. Wessel, Silikattechnik **9**, 51, 1958.)

[8]) Een globale berekening leert dat een bolvormig gebiedje met een diameter van 0,1 μ bij een gemiddelde glassamenstelling slechts 10^6 à 10^7 tetraëders bevat.

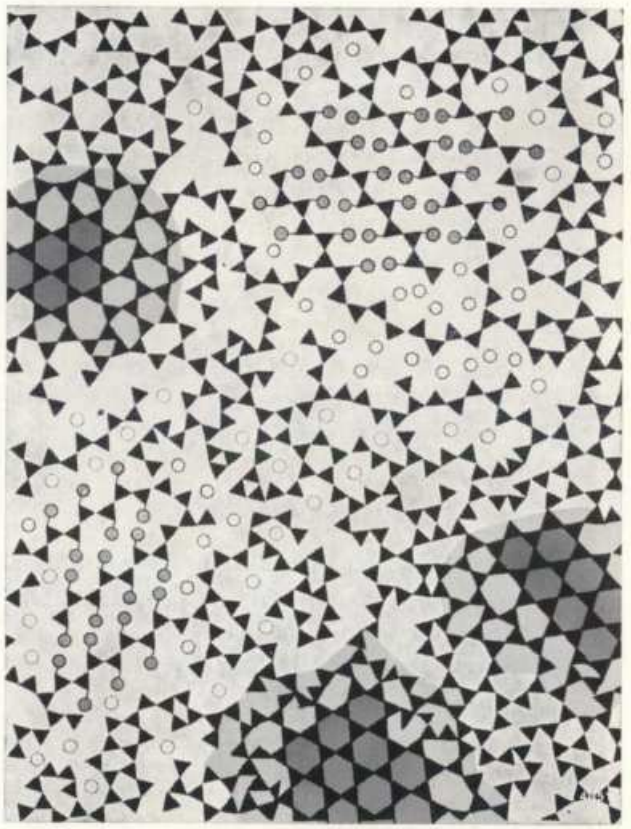
[9]) E. A. Porai-Koshits, Submikroskopische Struktur einiger komplexen Gläser, Glastechn. Ber. **32**, 450, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a



b

Fig. 11. Tweedimensioneel schema van de structuur van *a*) glasachtig SiO_2, *b*) glas van de samenstelling $Na_2O.2SiO_2$. (Overgenomen uit: E. A. Porai-Koshits, Glastechn. Ber. **32**, 450, 1959.) Men herkent duidelijk „kristallijne" gebieden („kristallieten"). Door licht en donker is de mate van kristallijne ordening aangegeven. Overigens menen we dat de holten in (*a*) in werkelijkheid niet zo onregelmatig zijn als hier is getekend. Oberlies en Dietzel hebben met röntgendiffractieopnamen afdoende bewezen dat we bij glasachtig SiO_2 hoofdzakelijk te maken hebben met zesringen van tetraëders [10]). We zien in (*b*) gebiedjes van kristallijn SiO_2, die via glasachtig SiO_2 en een glasachtig gebied dat bovendien Na^+-ionen bevat, overgaan in 3 gebieden waarvan de structuur veel lijkt op die van kristallijn $Na_2O.SiO_2$ (gebieden met donkere bolletjes).

brugzuurstofionen en twee zwevende zuurstofionen ($Na_2O.SiO_2$), moet zeer onwaarschijnlijk worden geacht. Ware dit zo, dan zou men zeker niet kunnen verwachten dat bepaalde discontinue veranderingen in de eigenschappen (waarvan we in het vorige hoofdstuk enige voorbeelden hebben gegeven) voorkomen bij zeer bepaalde waarden van Y die met een fysisch model begrepen kunnen worden. Aan de andere kant is het ook waar dat Y een gemiddelde waarde vertegenwoordigt: de bestudeerde materie is ten slotte een glas. Zo zal men in glas bij $Y = 3$ niet alleen te maken hebben met tetraeders met drie brugzuurstofionen, maar ook met tetraëders met vier of twee brugzuurstofionen. Bij $Y > 3$ zal men ongetwijfeld tetraëders met twee brugzuurstofionen aantreffen en omgekeerd bij $Y < 3$ tetraëders met vier brugzuurstofionen. Maar deze aantallen zullen betrekkelijk gering zijn. Wij kunnen dus zeggen dat men in glas gebieden van verschillend karakter, als in genoemde figuren geschetst, zal aantreffen, hetgeen b.v. ook tot uiting komt in de besproken verschijnselen van fazescheiding. Deze gebieden zullen evenwel slechts weinig in samenstelling schelen.

Netwerkfouten

Het zal na het voorgaande reeds enigermate begrijpelijk zijn dat men bepaalde begrippen die oorspronkelijk alleen voor de kristallijne toestand golden, ook heeft weten toe te passen op de glasachtige toestand.

In de laatste twintig jaar is men tot het inzicht gekomen dat alle kristallijne stoffen roosterfouten vertonen. Behalve discontinuïteiten zetelende in een vlak (kristalgrenzen bij polykristallijn materiaal, „korrel"-oppervlakken bij gesinterde materialen) komen ook lijnvormige discontinuïteiten (dislocaties) en puntvormige discontinuïteiten („puntdefecten") voor. Van deze laatste soort geven wij hier een specificatie, omdat vooral deze voor glas van belang is. In een bepaald rooster kunnen hier en daar atomen ontbreken (vacatures). Atomen kunnen zich op plaatsen bevinden waar ze volgens het patroon van het rooster niet thuis horen (interstitiële atomen). Soms zal men op roosterplaatsen van een bepaalde verbinding geïsoleerde vreemde atomen aantreffen (vreemde atomen). Ten slotte kunnen de drie hier genoemde

[10]) F. Oberlies en A. Dietzel, Glastechn. Ber. **30**, 37, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

soorten defecten nog met een positieve of negatieve lading voorkomen (F-centra, V-centra, enz.).

De hierboven vermelde begrippen zijn gemeengoed geworden bij degenen die zich bezighouden met het onderzoek van de kristallijne stof. Met behulp daarvan heeft men een goed inzicht gekregen in de achtergrond van talrijke fysische verschijnselen. In het bijzonder bij eenvoudig gebouwde stoffen, als halogeniden en chalcogeniden, blijken een aantal van deze verschijnselen met behulp van genoemde roosterfouten zelfs kwantitatief te kunnen worden beschreven [11]).

Ondanks het gecompliceerde en onregelmatige karakter van glasachtige systemen heeft men voor deze systemen met vrucht gebruik kunnen maken van verschillende van deze begrippen.

Systematiek van puntvormige netwerkfouten in glas

Zoals vermeld, zijn voor glas speciaal puntvormige netwerkfouten van belang [12]). Men heeft hiervoor de gebruikelijke onderverdeling als bij kristallen min of meer gehandhaafd. Doch wel heeft men een nieuwe systematiek moeten invoeren, en tevens heeft men, als gevolg van de afwezigheid van regelmaat van het netwerk, minder scherpe definities moeten toepassen.

In *fig. 12* bovenaan is afgebeeld een maagdelijk stuk Si-O-netwerk van kwartsglas. Men kan hierin de volgende drie soorten veranderingen aangebracht denken.

Er kan een zuurstofion ontbreken: men spreekt dan van een vacature. Er kan een zuurstofion toegevoegd zijn: dit noemt men een interstitieel ion (de term interstitieel is, letterlijk genomen, natuurlijk niet op zijn plaats in glas; het is ook wel gebruikelijk, volgens de oude terminologie, te spreken van een vervanging van een brugzuurstofion door twee zwevende zuurstofionen). Ten slotte kan men nog een metaalion geplaatst denken in een van de grote holten die altijd in het Si-O-netwerk aanwezig zijn: een vreemd ion (netwerkwijzigend ion).

Deze drie mogelijkheden kunnen nog al dan niet met elkaar gecombineerd voorkomen, hetgeen in principe acht combinaties oplevert. De beide combinaties echter waarin het brugzuurstofion door een vacature en tegelijkertijd door twee zwevende zuurstofionen wordt vervangen, zijn niet realiseerbaar, zodat er maar zes overblijven. Deze worden — vrij willekeurig — A, B, D, P, Q en T genoemd, zie *tabel II* [13]).

Tabel II. Mogelijke fouten in Si-O-netwerken.

Symbool	A	B	D	P	Q	T
Zuurstofvacature	—	×	—	—	—	×
Zwevend (interstitieel) zuurstofion	—	—	×	—	×	—
Netwerkwijzigend ion	—	—	×	×	—	×

Fig. 12 vertoont een aantal typische voorbeelden van netwerkfouten. Tevens ziet men hoe de groepssymbolen door het aanbrengen van indices dienstbaar zijn te maken aan een nauwkeuriger omschrijving van de netwerkfout. De plaats links boven het symbool heeft men gereserveerd voor een index die aangeeft door welk ion het siliciumion vervangen is (zie b.v. ^{2Al}B). De index links onder geeft de aard van het netwerkwijzigend ion aan (zie b.v. $_{2Na}D$ en $^{Al}_{Na}P$). Rechts boven kan een index de vervanging van zuurstof door een ander ion aanduiden (b.v. een vervanging door F, hier niet nader in fig. 12 aangegeven). De index rechts onder geeft het aantal gevangen elektronen of „elektronengaten" aan (zie b.v. $^{Al}B_-$, $_{Na}P_-$, Q_{2+} en $_{Na}T_{3-}$).

Enkele netwerkfouten in fig. 12 behoeven nog een nadere toelichting. In het algemeen zal men bij netwerkfouten in silicaatglas waarbij een zwevend zuurstofion is ingebouwd, een situatie vinden als bij $_{2Na}D$. Ook in silicaatglazen met een relatief laag gehalte aan metaaloxydes zal men nog dergelijke gepaarde zwevende zuurstofionen aantreffen. Bij glazen met relatief hoog gehalte aan metaaloxydes echter, die veel losser zijn gebouwd, zullen de zwevende zuurstofionen ongepaard voorkomen. Deze gevallen geeft men aan door een punt boven het symbool. Het ligt voor de hand dat men behalve met $\dot{D}$-centra (b.v. $_{Na}\dot{D}$) ook met de overeenkomstige $\dot{Q}$-centra (b.v. $\dot{Q}_+$) en $\dot{T}$-centra (b.v. $_{Na}\dot{T}_{2-}$) rekening zal moeten houden.

Netwerkfouten en fysische verschijnselen

Wij schetsen nu in het kort op welke gronden men tot de aanwezigheid van bepaalde centra kan be-

[11]) Zie b.v. G. W. Rathenau, Onvolmaaktheden van de stof, Philips techn. T. **15**, 105-136, 1953; H. G. van Bueren, Roosterfouten en plastische deformatie van metalen I, Philips techn. T. **15**, 266-282, 1953; Y. Haven, Roosterfouten in kristallen, bestudeerd aan alkalihalogenides, Philips techn. T. **20**, 51-62, 1958.

[12]) Lijnvormige discontinuïteiten zullen in het algemeen niet voorkomen in glas, gezien de ongeordende structuur. Wat betreft de discontinuïteiten aan oppervlakken: een blik op fig. 10 leert dat deze wel bestaan in glas. Er is momenteel nog weinig over bekend, doch het staat wel vast dat de nadere studie hiervan in hoge mate belangrijk zal zijn voor de verdere ontwikkeling van de technologie en toepassingen van glas.

[13]) A. Kats en J. M. Stevels, Philips Res. Repts. **11**, 115, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

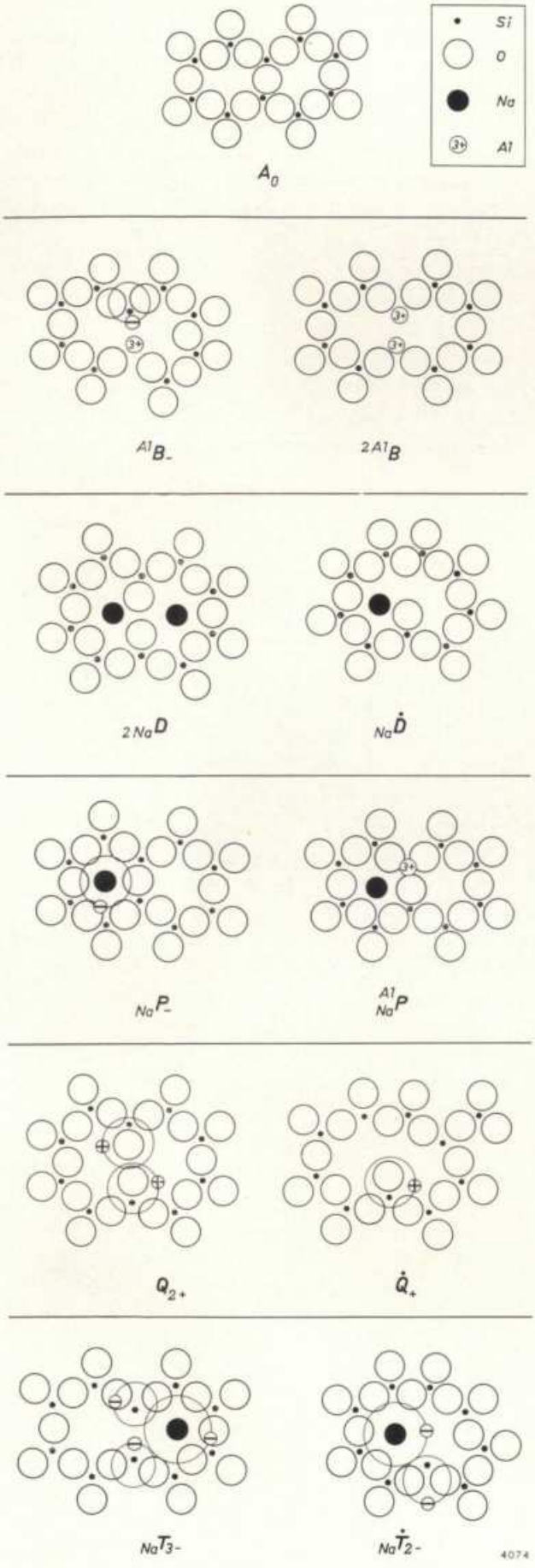


Fig. 12. Schematische voorstelling van een „foutloos" Si-O-netwerk en van allerlei voorkomende netwerkfouten. Het foutloze netwerk kent men het symbool A_0 toe. Alle hier gegeven netwerkfouten zijn elektrisch neutraal. Het behoeft geen betoog dat dit geen eis is, doch wel komt dit het meeste voor. $^{Al}B_-$: een zuurstofvacature met in de omgeving een door aluminium vervangen silicium en een gevangen elektron (het gevangen elektron en de ladingswinst door de vervanging van Si^{4+} door Al^{3+} compenseren het ladingsverlies door het ontbreken van het zuurstofion). ^{2Al}B: een zuurstofvacature met twee door aluminium vervangen siliciumionen. ^{2Na}D: gepaarde zwevende zuurstofionen en twee netwerkwijzigende natriumionen. $_{Na}\dot{D}$: een ongepaard zwevend zuurstofion en een netwerkwijzigend natriumion. $_{Na}P_-$: een netwerkwijzigend natriumion dat een elektron gevangen heeft. $^{Al}_{Na}P$: een netwerkwijzigend natriumion met in de omgeving een door aluminium vervangen siliciumion. Q_{2+}: gepaarde zwevende zuurstofionen met twee gevangen „elektronengaten". $\dot{Q}_+$: een ongepaard zwevend zuurstofion met een gevangen „elektronengat". $_{Na}T_{2-}$: een zuurstofvacature, een netwerkwijzigend natriumion plus drie gevangen elektronen. $_{Na}\dot{T}_{2-}$: een zuurstofvacature, een netwerkwijzigend natriumion plus twee gevangen elektronen.

sluiten en geven vervolgens enige voorbeelden van verschijnselen die nauw met het bestaan der centra samenhangen.

Het resultaat van een chemische analyse kan reeds enige indicaties over de te verwachten centra geven. Doch dit is veelal onvoldoende. Enerzijds geeft de analyse geen inlichtingen over de *wijze* waarop de componenten c.q. verontreinigingen voorkomen, anderzijds gaat het in de praktijk soms om zo geringe hoeveelheden dat ze bij chemische analyse onopgemerkt blijven.

Men heeft dan ook allerlei fysische methodes gebruikt en met behulp hiervan is het — o.a. door de combinatie van gegevens — mogelijk gebleken een groot aantal centra te determineren. Voor glas heeft men vooral gebruik gemaakt van optische absorptiemetingen en metingen van paramagnetische resonantie [14]).

Silicaatglazen kan men veelal beschrijven als een Si-O-netwerk met D- en/of $\dot{D}$-centra. Deze kunnen in de regel niet worden aangetoond met de genoemde fysische methodes. Geheel anders wordt de situatie evenwel indien men een glas blootstelt aan ultraviolette, röntgen- of gammastralen. Gaat men uit van glazen met veel $\dot{D}$-centra, dan zijn deze de aangrijpingspunten voor de straling: een elektron wordt van het zuurstofion losgeslagen, het bijbehorende metaalion verplaatst zich meestal over enige afstand en vangt dan weer een elektron,

[14]) Over paramagnetische resonantie, zie b.v. J. S. van Wieringen, Philips techn. T. **19**, 325, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zodat er uiteindelijk een reactie ontstaat welke men als volgt kan weergeven:

$$_{X}\dot{D} \rightarrow {}_{X}P_{-} + \dot{Q}_{+}.$$

X duidt hier b.v. een alkali-atoom aan.

De ontstane $_{X}P_{-}$-centra vertonen optische absorptie bij een golflengte die afhangt van de aard van het alkali-ion. Zo geeft het $_{Li}P_{-}$-centrum een absorptie bij 4200 Å, het $_{Na}P_{-}$-centrum bij 4600 Å en het $_{K}P_{-}$-centrum bij 4750 Å. Tevens is in de beschouwde gevallen een absorptie waargenomen bij ongeveer 3000 Å, die *on*afhankelijk is van de aard van het alkali-ion en die moet worden toegeschreven aan het $\dot{Q}_{+}$-centrum.

Een zelfde beeld heeft men verkregen met behulp van paramagnetische resonantiemetingen. Hiermee kan men twee soorten centra aantonen, waarvan de één een ongepaard elektron en de ander een ongepaard elektronengat moet bevatten. De hierbij optredende zg. g-factoren van de eerste soort centra bleken afhankelijk te zijn van de aard van het alkali-ion (voor Li, Na, K, Rb en Cs resp. 1,960, 1,964, 1,966, 1,976 en 1,974). De g-factor van het centrum met het elektronengat daarentegen was onafhankelijk hiervan (2,011) [15]).

Volledigheidshalve dient opgemerkt te worden dat bij bestraling niet alleen een elektron, maar door een secundaire reactie ook het zuurstofion losgemaakt kan worden, hetgeen aanleiding geeft tot een B-centrum. Bevindt zich een gevormd P-centrum in de buurt van deze plaats, dan kunnen T-centra ontstaan, welke merkbaar worden door absorptiepieken in de buurt van 6200 Å.

Verschijnselen als hier beschreven, zijn de oorzaak van de soms optredende verkleuring van glas bij bestraling. Wij denken hier b.v. aan de verkleuring van glas van röntgenbuizen, die na zekere gebruikstijd optreedt. Bij matige verhitting verdwijnt de verkleuring doordat de reacties die de hiervoor verantwoordelijke centra produceren, reversibel zijn. Bij kamer- en lagere temperaturen kunnen de kleurcentra evenwel lange tijd geconserveerd blijven.

Daar men van een dergelijke verkleuring vaak veel hinder ondervindt, heeft men naar middelen gezocht om dit verschijnsel tegen te gaan. Men is hierin geslaagd o.a. door het aanbrengen van kleine hoeveelheden ceriumoxyde in het glas. De door bestraling vrijgemaakte elektronen worden in een dergelijk glas gevangen door complexen van cerium-ionen en P-centra. Dit brengt mee dat de lichtabsorptie optreedt bij kleinere golflengte dan in het oorspronkelijke glas, nl. bij een golflengte <3500 Å, waardoor de absorptie niet meer met het oog waarneembaar is.

Voorbeelden van zulke bijzondere „composities" die speciale eigenschappen aan glas geven — en dus ook speciale toepassingen mogelijk maken —, vindt men te over sinds men het begrip van de netwerkfouten van glas heeft ingevoerd. Zo kan men ook glazen „componeren" die juist sterk verkleuren onder invloed van bestraling. Van een dergelijk glas kan men gebruik maken om uiterst kleine doses röntgen- of gammastraling te meten. De in het glas teweeggebrachte verkleuring is een maat voor de intensiteit van de onderzochte straling.

Belangrijk zijn ook de glazen waarmee een (vrijwel) volledige absorptie van kortgolvige straling kan worden verkregen zonder dat de glazen hierbij verkleuren. Dit materiaal is b.v. geschikt voor kijkvensters in kernsplitsingsapparaturen.

Een ander verschijnsel dat de aandacht verdient, is de aanwezigheid van OH-groepen in glas, als gevolg van spoortjes water (afkomstig van de grondstoffen en van de vlammen in de smeltoven). Scholze heeft de hiermee samenhangende netwerkfouten (in onze terminologie $_{H}\dot{D}$) bestudeerd door de infraroodabsorptie te meten [16]).

De OH-groepen in glas kunnen in twee verschillende toestanden verkeren. Ze kunnen „vrij" zijn of zich in de nabijheid bevinden van een (zwevend) zuurstofion en daarmee een zg. waterstofbrug vormen. Scholze heeft aangetoond dat de absorptiebanden in het infraroodspectrum bij 2,75-2,95 μ en bij 3,35-3,85 μ moeten worden toegeschreven aan resp. de eerste en de tweede soort OH-groepen [17]). De kennis van dit verband laat toe een aantal verschijnselen in glas beter te begrijpen, zoals wij hieronder met enige voorbeelden toelichten.

In de buurt van een zwevend zuurstofion bevindt zich altijd een metaalion (ter compensatie van de lading). Dit zal des te sterker met de zuurstof verbonden zijn naarmate de elektrische veldsterkte groter is. Het treedt hierbij in concurrentie met de OH-groepen, die de vermelde waterstofbrug kunnen vormen. Bij afnemende veldsterkte van het metaalion (b.v. Li → Na → K) zal men dus, bij constant gehalte, een toenemende hoeveelheid van de tweede soort OH-groepen kunnen verwachten. Het blijkt

[15]) J. S. van Wieringen en A. Kats, Philips Res. Repts. **12**, 432, 1957.

[16]) H. Scholze, Glastechn. Ber. **32**, 81, 142, 278, 314, 381, 421, 1959.

[17]) De betekenis van een band bij 4,25 μ is nog niet geheel duidelijk. Vgl. ook R. V. Adams en R. W. Douglas, J. Soc. Glass Technol. **43**, 147, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

inderdaad dat de absorptie bij 3,35-3,85 μ onder deze omstandigheden toeneemt.

Een ander voorbeeld. Het aluminiumion is, evenals het siliciumion, netwerkvormend. Gebruikt men SiO_2 gemengd met Al_2O_3 als glasvormend oxyde, dan ontstaat een netwerk dat armer aan zuurstof is dan indien men alleen SiO_2 gebruikt, en wel zal het aantal zwevende zuurstofionen geringer zijn (kleinere X). Door het molaire gehalte aan Al_2O_3 even groot te maken als het molaire gehalte aan alkali-oxyde (wat overeenkomt met het gehalte aan zwevende zuurstof), ontstaat zelfs een netwerk *zonder* zwevende zuurstofionen. Men kan dit o.a. constateren aan het volledig uitblijven van de infraroodabsorptie van de tweede soort OH-groepen (die aan zwevende zuurstof gebonden zijn).

Ten slotte: bij verhoging van de temperatuur kan men uit de infraroodabsorptie afleiden dat de eerste soort OH-groepen in aantal toeneemt ten koste van de tweede soort, hetgeen ook zeer goed te begrijpen is.

Men heeft op verschillende manieren de kennis van deze verschijnselen kunnen benutten.

De aanwezigheid van OH-groepen in glas is de oorzaak dat glas alleen goed doorlatend is voor infrarode straling met een golflengte kleiner dan 2,8 μ. Voor bepaalde doeleinden zal men ernaar streven het spectrale gebied dat men wil doorlaten groter te maken. Dit is b.v. van belang indien men prisma's wil maken voor spectrometers die ook voor het infrarode deel van het spectrum zijn te gebruiken. Men neemt hiervoor kwartsglas, en om zover mogelijk in het infrarood te kunnen komen, is het gewenst alle waterstof uit het glas te verdrijven. Men kan dit b.v. doen door het kwartsglas enige tijd bij 1000 °C in een CO-atmosfeer te verhitten.

Een andere manier om de doorlating voor infrarode straling te vergroten, is de waterstof te vervangen door deuterium. Met deze substitutie gaat een „verschuiving" gepaard van de infraroodabsorptie, welke dan plaatsvindt bij golflengten van ongeveer 3,7 μ in plaats van 2,8 μ.

Uit wat hier besproken is, moge duidelijk zijn geworden dat door gebruik te maken van de grote verscheidenheid van mogelijke netwerkfouten zeer uiteenlopende eigenschappen aan glas gegeven kunnen worden. De beheersing van deze fouten, gevoegd bij de andere moderne ontwikkelingen die eerder zijn besproken, stelt ons steeds beter in staat glassoorten te maken die voldoen aan de sterk divergerende eisen van wetenschap en techniek.

Samenvatting. In de laatste jaren is een beter inzicht ontstaan in de structuur van glas, vergeleken met de theorie van Zachariasen. Het verband tussen Y (gemiddeld aantal brugzuurstofionen per polyeder) en een aantal fysische eigenschappen verduidelijkt de „boriumanomalie", alsmede andere eigenaardigheden in het verloop van de fysische eigenschappen van glas bij veranderende samenstelling. Indien Y kleiner is dan twee, d.w.z. indien het netwerk geen samenhangend geheel meer vormt, is het systeem geneigd tot kristallisatie. Men bestrijdt deze neiging door het tegelijkertijd aanbrengen van metaalionen van verschillende grootte en lading. Zo is een geheel nieuwe categorie glazen ontstaan, de invertglazen. Nieuw is ook de ontdekking dat glas is opgebouwd uit kleine gebiedjes van verschillende samenstelling en structuur (gebiedjes waarin zich verschillende fazen hebben afgescheiden; „kristallieten"). De theorie van de zg. netwerkfouten biedt een verklaring voor de verkleuring van glas bij kortgolvige bestraling en diverse andere eigenschappen van glas. Toepassingen van deze theorie worden besproken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

METEN EN REGELEN IN DE GLASFABRICAGE

door P. M. CUPIDO *). 621-53-79:661.1.031.2

Zoals in zovele massa-industrieën, heeft de techniek van het meten en regelen de laatste jaren ook zijn intrede gedaan in de glasfabricage. In dit artikel worden de grootheden besproken die bij deze fabricage voor regeling in aanmerking komen, en daarna de eisen die aan de meet- en regelapparatuur worden gesteld. Vooraf gaat een overzicht van de glasbereiding.

De beschouwingen zijn in de eerste plaats gericht op de fabricage van glas zoals die bij Philips gebeurt, waar het glas wordt geproduceerd in de vorm van ballons, buizen en staven. In velerlei opzicht echter is het onderstaande ook van toepassing op de massaproduktie van glas in andere vormen.

Hoofdzaken van de glasbereiding

Ter bereiding van glas dient men uit te gaan van een mengsel van grondstoffen en dit een behandeling te doen ondergaan waarbij de temperatuur op een bepaalde manier met de tijd verloopt. Naar gelang van de wijze waarop deze temperatuur-tijdbehandeling tot stand komt, spreekt men van discontinue en continue processen.

Een discontinue methode is b.v. het smelten in potten. Dit is de oudste wijze van glassmelten, die nog steeds in gebruik is voor glassoorten van bijzondere kwaliteit en voor betrekkelijk geringe hoeveelheden. De lege potten worden in een oven geplaatst, die ingericht kan zijn voor één pot, maar er zijn ook ovens die plaats bieden aan 20 potten. Het grondstoffenmengsel wordt in de op hoge temperatuur gebrachte pot geschept („ingelegd" is de vakterm). Dit mengsel bestaat uit min of meer fijnkorrelige oxydes en carbonaten en uit glasscherven. Mede door de aanzienlijke hoeveelheid ingesloten lucht heeft het een geringe warmtegeleiding. Het verhitten van het mengsel vergt dan ook veel tijd. Tijdens het stijgen van de temperatuur gaat de smeltreactie optreden. Hierbij ontstaan aanzienlijke hoeveelheden gas, die voor een deel direct in de ovenatmosfeer verdwijnen en voor een ander deel als gasbellen in de taaie schuimende massa worden ingesloten. Naarmate de temperatuur hoger wordt, neemt de viscositeit van de massa af, waardoor de gasbellen vlotter naar het oppervlak kunnen stijgen en ontwijken.

Deze verplaatsing van de gasbellen veroorzaakt een beweging in het glas, die de chemische reacties bevordert en ze volledíger doet verlopen. Als deze gewenste reacties ten einde zijn, ontstaan er geen nieuwe gasbellen meer. Het glas bevrijdt zich nu langzamerhand van de nog aanwezige bellen en wordt homogener van samenstelling. Dit gedeelte van het proces noemt men louteren. Daarna wordt de massa op een lagere temperatuur gebracht, die het glas de juiste viscositeit voor de verdere verwerking geeft.

Het machinaal verwerken van grote hoeveelheden glas stelt eisen aan het bereidingsproces waaraan het smelten in potten niet kan voldoen. Een proces dat zich hier beter voor leent, is het bereiden in een kuipoven. Hierin zijn het smeltende mengsel en het vloeibare glas in direct contact met de bodem en de wanden van de oven. De bodem vormt samen met het gedeelte van de wanden dat in contact met het vloeibare glas is, de smeltkuip. Dit is een langwerpige bak, die uit blokken vuurvast materiaal is opgebouwd. Aan de ene korte zijde wordt het grondstoffenmengsel toegevoerd, aan de andere korte zijde wordt het vloeibare glas afgevoerd. In deze smeltkuip wordt de massa onderworpen aan de noodzakelijke temperatuur-tijdbehandeling. Deze wordt verkregen door in de lengterichting van de oven het juiste temperatuurverloop te creëren en de doorstromingssnelheid van het glas zorgvuldig in de hand te houden. In tegenstelling met het smelten in potten is dit een continu proces.

Het zou ideaal zijn als al het glas dat uit de smeltkuip stroomt, dezelfde wordingsgeschiedenis had. Dit is echter niet het geval. Door de complexe stromingen die optreden, en door de min of meer „dode" hoeken, is de verblijftijd van verschillende porties glas in de smeltkuip zeer verschillend. Goed glas kan alleen worden verkregen als de kortste verblijftijd boven een zeker minimum blijft. Een lange verblijftijd is echter eveneens ongewenst, niet alleen om economische redenen, maar ook uit een oogpunt van kwaliteit: gedurende een lange verblijftijd verandert de vloeibare massa namelijk van samenstelling, doordat de verschillende bestanddelen in verschillende mate verdampen en doordat materiaal van de wand oplost. Een en ander maakt dat de verblijftijd tussen nauwe grenzen moet liggen.

De onveranderlijkheid van het stromingspatroon in de smeltkuip is dan ook van bijzonder belang. De condities die dit patroon bepalen, moeten zorgvuldig constant gehouden worden. Deze condities

*) Hoofdindustriegroep Glas, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zijn: de wijze van het toevoeren van het grondstoffenmengsel, het afvoeren van het vloeibare glas, en vooral de warmteovergang in de smeltkuip en de temperatuur op verschillende plaatsen boven en onder het glasoppervlak.

Om enig inzicht te geven in de mogelijkheid, deze en andere condities bij het bereiden van glas in een continu proces te beheersen, volgt nu een nadere beschrijving van een kuipoven.

Een regeneratieve kuipoven

Het hart van de oven wordt gevormd door de smeltkuip. Deze is, zonder gebruik van specie, opgebouwd uit goed aaneensluitende blokken vuurvast materiaal. In het geval dat wij hier willen beschrijven, bevinden zich in de muren van de oven een aantal branderpoorten, waarin oliebranders uitmonden. De verdeling van de brandstof over een aantal branders maakt het mogelijk, de temperatuurverdeling in de lengterichting van de oven nauwkeurig in te stellen. De voor de verbranding noodzakelijke zuurstof wordt verkregen uit de lucht die door de branderpoorten de oven binnenstroomt en die om redenen van stookeconomie is voorverwarmd in een warmtewisselaar, die de warmte ontleent aan de verbrandingsgassen voordat deze de schoorsteen in gaan.

Er zijn twee systemen van voorverwarmen: het recuperatieve en het regeneratieve systeem. Het recuperatieve systeem wordt in het algemeen alleen toegepast voor betrekkelijk kleine ovens, met een capaciteit van niet meer dan enige tientallen tonnen glas per etmaal. Bij dit systeem stromen de te verwarmen lucht en de hete verbrandingsgassen door aparte kanalen (de recuperator), die door keramische of metalen wanden van elkaar zijn gescheiden. De warmteovergang vindt dus continu plaats, door de wand heen.

Voor grotere ovens is de regeneratieve methode economischer. Aan beide zijden van de oven bevindt zich een doosvormig bouwwerk van baksteen (*fig. 1*), dat voorzien is van een voering van vuurvast materiaal. Hierbinnen is een open stapelwerk van vuurvaste stenen geplaatst. Dit stapelwerk (de regenerator) heeft een grote warmtecapaciteit en biedt weinig weerstand aan het doorstromende gas, dat afwisselend het hete verbrandingsgas en de te verwarmen lucht is. Zoals in het onderschrift van fig. 1 is toegelicht, werken telkens slechts de branders aan één zijde van de oven. De daarvoor nodige lucht is voorverwarmd in de ene regenerator, terwijl de verbrandingsgassen, op weg naar de schoorsteen, door de andere regenerator stromen, die daarbij warmte opzamelt. Na b.v. een half uur dooft men de vlammen, verwisselt de gasstromen door de regeneratoren en voert brandstof toe aan de branders aan de andere zijde, enz.

Bij het zoëven besproken recuperatieve systeem werken de branders continu, er wordt niet gewisseld en in de warmtewisselaar ontstaat een temperatuurevenwicht; daardoor zijn bij dit systeem constante

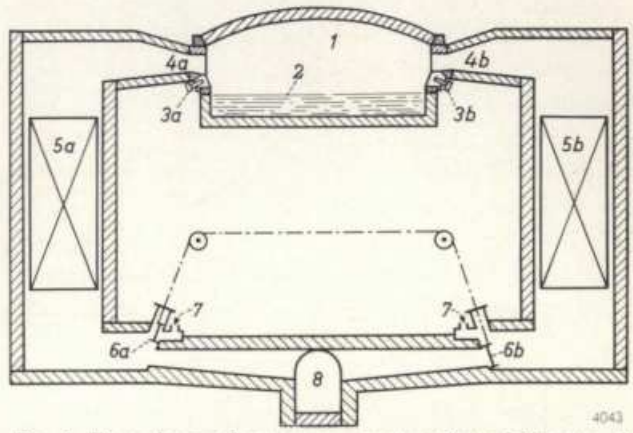


Fig. 1. Dwarsdoorsnede van een regeneratieve kuipoven. *1* oven, met glasniveau *2*. *3a*, *3b* oliebranders. *4a*, *4b* branderpoorten. *5a*, *5b* regeneratoren. *6a*, *6b* wisselschuiven. *7* toevoer van verbrandingslucht. *8* schoorsteenkanaal.

In de getekende stand van de wisselschuiven *6a* en *6b* werken de branders *3b*, waarvan de verbrandingslucht wordt voorverwarmd in de regenerator *5b* en waarvan de verbrandingsgassen warmte afgeven aan de regenerator *5a*; de branders *3a* zijn nu gedoofd. Iedere 20 tot 30 minuten wisselt men van branders.

procescondities eenvoudig te verkrijgen. In tegenstelling hiermee staat het regeneratieve systeem, waarbij de temperatuur van de verwarmde lucht voortdurend verandert en het wisselen telkens een aanzienlijke verstoring van de heersende toestand in de oven veroorzaakt. Ondanks dit bezwaar — dat men kan verminderen door het wisselen met kortere tussenpozen te doen — wordt voor grote produktie de voorkeur gegeven aan het regeneratieve systeem, omdat dit, zoals gezegd, economischer is. De oorzaak hiervan is de betere warmteovergang in de regeneratieve warmtewisselaar: de te verwarmen lucht bereikt hierin een temperatuur van 1000 tot 1100 °C, d.i. 300 tot 400 °C hoger dan in een recuperator.

Het verdere proces

Na het verlaten van de smeltkuip stroomt het glas in de werkkuip, eveneens van vuurvast materiaal, doch van aanzienlijk geringer afmetingen. De naam van dit gedeelte van de oven dateert uit de tijd toen het glas nog uitsluitend niet-automatisch werd verwerkt en de glasblazer op deze plaats zijn werk verrichtte. In het automatische bedrijf — waaraan we bij deze beschrijving in hoofdzaak denken — is de functie van de werkkuip voornamelijk het op

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lagere temperatuur laten komen van het glas. Het uit de smeltkuip stromende glas heeft een temperatuur van 1400 tot 1500 °C, en het glas moet verwerkt worden bij 1000 tot 1100 °C. Een gedeelte van deze daling vindt plaats in de werkkuip. De daling behoort gelijkmatig te geschieden, wat enige tijd en ruimte vergt.

Vanuit de werkkuip stroomt het glas in een of meer toevoerkanalen („feeders"). Dit zijn lange kanalen van vuurvast materiaal, waarin een juiste combinatie van koeling en verwarming het glas een constante temperatuur geeft die zo homogeen mogelijk is verdeeld. De kanalen monden uit bij de verwerkingsmachines. Afhankelijk van het gefabriceerde artikel, wordt het glas continu of discontinu afgeleverd: een machine die glazen buizen of staven maakt, krijgt een voortdurende stroom glas toegevoerd, een ballonblaasmachine b.v. (zie het desbetreffende artikel in dit nummer) krijgt telkens een portie glas te verwerken, die door een soort schaar wordt afgeknipt (*fig. 2;* zie ook fig. 3 en 4 op blz. 335).

Fig. 2. De stroom glas die door het toevoerkanaal naar de verwerkingsmachines vloeit, wordt door een schaar in porties geknipt. De foto toont een portie glas die op het punt is, in de verwerkingsmachine te vallen (in casu een machine voor het persen van de vensters van weergeefbuizen).

Grootheden die voor regeling in aanmerking komen

Na bovenstaande beschrijving van het fabricageproces in een regeneratieve kuipoven zullen we nagaan hoe de procescondities beheerst kunnen worden [1]).

Regeling van de temperatuur in de oven

In het bovenstaande is al gewezen op het grote belang van een constante warmteafgifte van de ovenatmosfeer aan het glas. Een eerste vereiste om dit te bereiken, is constantheid van de temperatuur en van de temperatuurverdeling in de oven. Bij een oliebrander kan men de temperatuur op eenvoudige manier regelen door een temperatuuropnemer, b.v. een thermokoppel, in de buurt van de vlam te plaatsen en het meetsignaal over te brengen naar een regelaar die met behulp van een klep de hoeveelheid olie regelt welke per seconde wordt toegevoerd. De werking van zo'n eenvoudig regelsysteem zullen we nu nagaan, waarbij zal blijken dat het ontoereikend is.

De brandstof wordt verstoven door middel van lucht of stoom onder druk. Als de druk stijgt, worden de druppeltjes kleiner, de menging met de toegevoerde verbrandingslucht gaat sneller, de verbranding eveneens, en de vlam wordt korter. De vlam geeft zijn warmte aan de omgeving af op twee manieren: door straling, voornamelijk vanuit het lichtgevende gedeelte, en door convectie via de verbrandingsgassen. Een kortere vlam, dus een kleiner lichtgevend gedeelte, betekent een geringere warmteafgifte door straling. Daar aan de brander dezelfde hoeveelheid energie per seconde blijft toegevoerd, is het gevolg dat de verbrandingsgassen heter worden. Is het thermokoppel aangebracht op een plaats waar voornamelijk convectie de warmteafgifte bepaalt, dan zal het resultaat van een toegenomen verstuivingsdruk zijn dat de regelaar de oliestroom vermindert. Dit nu is een ongewenst ingrijpen. Juist zou zijn, de verstuivingsdruk op de goede waarde terug te brengen, maar daartoe is het eenvoudige regelsysteem niet in staat.

Temperatuurstijging van de olie zou een soortgelijk effect veroorzaken. Als brandstof wordt een dikke olie gebruikt, waarvan de viscositeit alleen bij een temperatuur tussen ca. 80 en 90 °C een goede verstuiving toelaat. De viscositeit verandert zo sterk met de temperatuur dat een variatie van enige °C al een duidelijke verandering in de verstuiving teweegbrengt. Het gevolg van een hogere olietemperatuur is dus een fijnere verstuiving, een kortere vlam en in het beschreven geval een hogere temperatuur van het thermokoppel en wederom een vermindering van de oliestroom.

Verbetering kan gezocht worden door de opnemer zo te plaatsen dat hij zo weinig mogelijk onder de directe invloed van de vlam staat, b.v. in het gewelf van de oven. De bovengenoemde storingen zullen

[1]) Zie ook: P. M. Cupido, Some views on automatic control in glass factories, Glastechn. Ber., 5e Internat. Glascongres, Sonderband **32 K**, Heft I, blz. I/1-I/5, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan in mindere mate merkbaar zijn. Een nadeel is evenwel dat het thermokoppel nu min of meer deel uitmaakt van het gewelf, dat een zeer grote warmtecapaciteit heeft. Veranderingen in de vlamtemperatuur zullen dus met aanzienlijke vertraging gemeten worden. Een snelle en stabiele automatische regeling is dan niet mogelijk.

De juiste oplossing is hier conditieregeling, d.w.z. alle condities die de eigenschappen van de vlam bepalen, krijgen hun eigen regelcircuit. In de eerste plaats dient in de olieleiding een thermostaat te worden aangebracht, die de temperatuur van de brandstof constant houdt, en in de verstuivingsinstallatie een drukregelaar.

Een verdere stap is het constant houden van de oliestroom. Hiertoe wordt in de olieleiding een vernauwd gedeelte (meetflens) opgenomen; de verschildruk die hierover ontstaat, werkt via een regelaar op een regelklep in de olieleiding. Dit regelcircuit kan optredende storingen snel wegregelen zonder gevaar van instabiliteit. Een verlaging van de oliedruk — veroorzaakt door b.v. een gedeeltelijk verstopt raken van een filter — kan binnen enkele seconden te niet worden gedaan.

Vervolgens zijn van belang: de hoeveelheid verbrandingslucht en de temperatuur daarvan. Beperken we ons eerst tot de hoeveelheid. Deze bepaalt rechtstreeks of de atmosfeer rondom de vlam oxyderend dan wel reducerend is en heeft ook invloed op de lengte en de straling van de vlam. Het is dus wenselijk de verbrandingsluchtstroom te meten en te regelen. Bij het overgrote deel van de in gebruik zijnde ovens laat de constructie dit echter niet toe. De stromingsweerstand die de branderpoorten en de regenerator aan de lucht bieden, veroorzaakt een verdeling van de lucht over de branderpoorten die bijna niet beïnvloed kan worden. Pogingen om de luchtverdeling te beheersen door middel van regelschuiven in de branderpoorten zijn wel gedaan, maar op grote praktische moeilijkheden afgestuit.

Een systeem dat wèl goed te verwezenlijken is en uitstekend functioneert, maakt gebruik van een afzonderlijke regenerator voor elke branderpoort. Aan de onderzijde van iedere regenerator wordt de lucht aangevoerd die de bijbehorende brander nodig heeft. In deze aanvoer kan een soortgelijk meet- en regelsysteem worden geplaatst als in de olieleiding: met behulp van een vernauwd gedeelte (een meetflens, eventueel een venturibuis) wordt de luchtstroom gemeten en via een regelaar en regelklep constant gehouden. De olie- en de luchtregelaar zijn op eenvoudige wijze aan elkaar te koppelen via een verhoudingsregelaar, die een eenmaal ingestelde verhouding olie : lucht handhaaft als door regelend ingrijpen de olie- of de luchtstroom varieert.

Een moeilijkheid blijft echter nog de temperatuur van de verbrandingslucht. Deze temperatuur is het hoogst direct na het wisselen, en neemt dan geleidelijk af. Door de periode tussen twee wisselingen te verkorten, kan men de temperatuurdaling verminderen. Maar te kort mag de periode ook niet worden, daar iedere wisseling, zoals boven al is opgemerkt, de heersende condities aanzienlijk verstoort: tijdens het wisselen zijn alle vlammen gedoofd en de samenstelling van de ovenatmosfeer verandert ingrijpend. Het gunstigste compromis voor de wisselperiode ligt gewoonlijk tussen 20 en 30 minuten. Om de verstoring zoveel mogelijk te beperken, moet men het wisselen zelf zo snel mogelijk laten gebeuren.

Automatisch wisselen

Het ligt voor de hand het wisselen automatisch te doen geschieden, te meer daar bij een oven met gescheiden regeneratoren toch al een aantal handelingen snel na elkaar moeten worden verricht. Wij zullen nu nagaan welke dit zijn en in welke volgorde ze moeten gebeuren.

Onderstel dat de branders aan de linkerzijde in gebruik zijn. Wordt gewisseld, dan is de eerste handeling het dichtdraaien van de olieafsluiters voor de linkerzijde. Vervolgens wordt de druk van de verstuivingslucht verlaagd.

De toevoer van verstuivingslucht geheel afsluiten is ontoelaatbaar. De niet-werkende branders hebben namelijk enige koeling nodig, om te voorkomen dat de olieresten zouden verkolen, waardoor de branders verstopt zouden raken. De volle verstuivingsdruk op deze branders laten staan, is ook ongewenst, omdat er dan een aanzienlijk kwantum koude lucht (ca. 5% van de totale hoeveelheid verbrandingslucht) in de oven zou komen. Daarom geeft men de niet-werkende branders een verlaagde verstuivingsdruk.

De volgende handeling is het omzetten van de wissel. Via de rechter regeneratorkamer wordt nu de verbrandingslucht aangevoerd. Deze moet eerst de nog in de kamer aanwezige verbrandingsgassen verdrijven. Pas wanneer dit in voldoende mate is gebeurd, mag aan de rechterzijde de verstuivingslucht op de juiste druk gebracht en mogen de olieafsluiters opengedraaid worden. Gebeurde dit laatste te vroeg, dan zou de verstoven olie door zuurstofgebrek niet direct kunnen verbranden, met als gevolg een sterk walmende vlam en eventueel nabranden in de regenerator.

Willen we deze eenvoudige handelingen automatisch laten gebeuren, dan moeten een aantal betrouwbare beveiligingen worden aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Defecten in het schakelmechanisme b.v. zullen er nooit toe mogen leiden dat aan de branders wel olie wordt toegevoerd, maar geen verbrandings- of verstuivingslucht; zulk een situatie zou een ernstige ontploffing tot gevolg kunnen hebben.

Voor de automatisch geregelde ovens in de glasfabrieken van Philips is een beveiligd schakelsysteem ontwikkeld (*fig. 3*). Het eerste schakelcommando wordt hierbij gegeven door een schakelklok; ieder volgend commando kan pas worden gegeven nadat het vorige correct is uitgevoerd. Het wisselen gebeurt in een tijd van 10 tot 15 seconden. Het systeem is zodanig ingericht dat bij storingen (uitvallen van de netspanning of van de perslucht) de olietoevoer

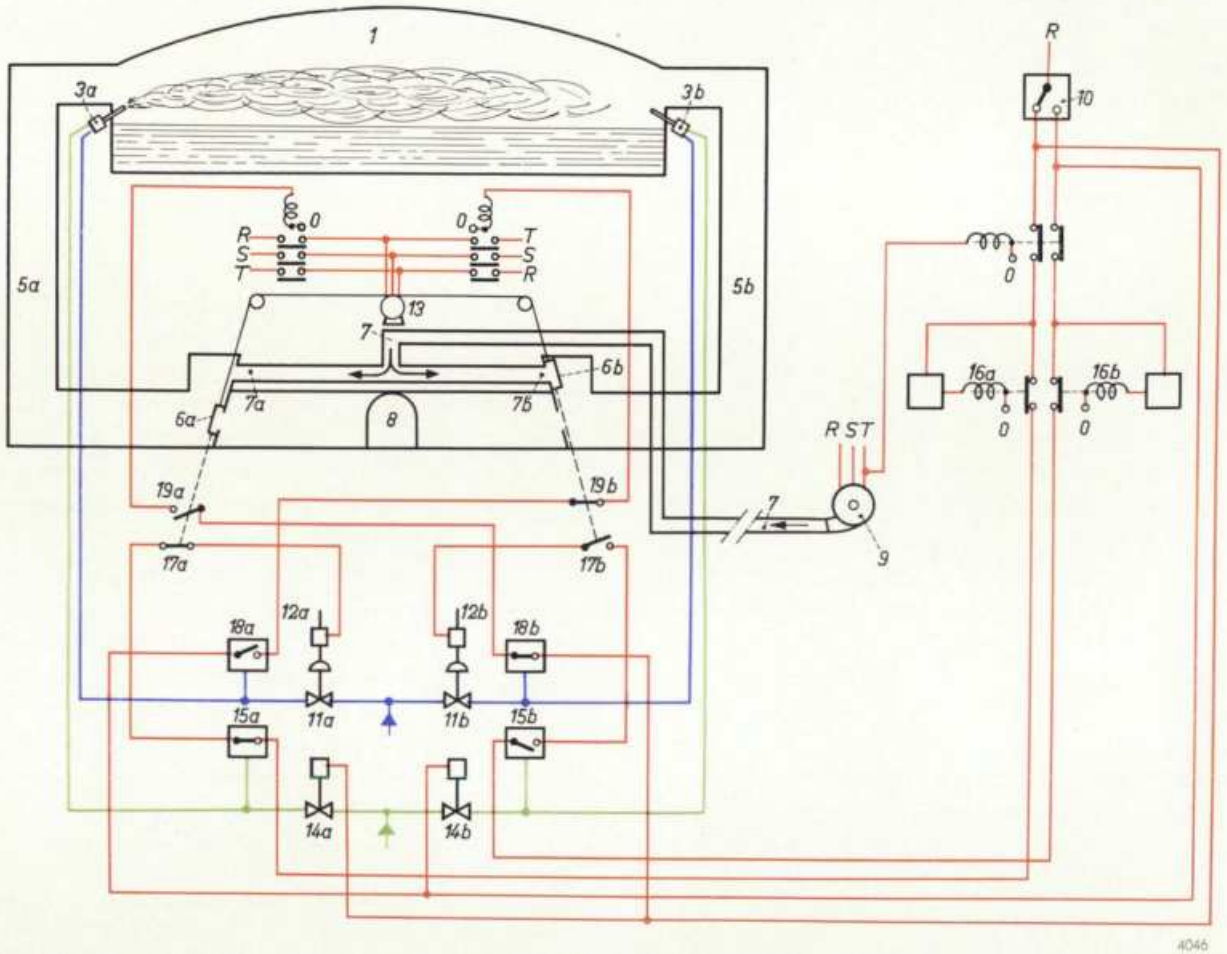


Fig. 3. Automatisch wisselsysteem (enigszins vereenvoudigd), in gebruik in de glasfabrieken van Philips. *1* kuipoven met branders *3a* en *3b*, regeneratoren *5a* en *5b*, wisselschuiven *6a* en *6b*, kanaal *7* voor toevoer van verbrandingslucht, afkomstig van ventilator *9*, en schoorsteenkanaal *8*. Schakelklok *10* geeft op gezette tijden het begincommando, dat het wisselen inleidt. *Blauw*: olieleidingen. *Groen*: verstuivingsluchtleidingen. *Rood*: elektrische leidingen. *RST0* driefazennet.

In de getekende toestand werken de branders *3a*. Deze krijgen olie toegevoerd via klep *11a*, verstuivingslucht via klep *14a*, en verbrandingslucht via kanaal *7a* en de hete regenerator *5a*. De verbrandingsgassen verdwijnen via de afgekoelde regenerator *5b* en het schoorsteenkanaal *8*. De olieklep *11a* wordt tegen een krachtige veerdruk in open gehouden door een pneumatische membraanmotor, die alleen lucht krijgt toegevoerd zolang de elektromagnetische afsluiter *12a* bekrachtigd is.

Het wisselen wordt ingeleid doordat de schakelarm in klok *10* in de andere stand komt te staan. De bekrachtiging van *12a* valt dan weg, olieklep *11a* gaat dicht, de vlammen links gaan uit. Schakelaar *18a*, die *uit* stond, gaat onder invloed van de wegvallende oliedruk over in de stand *in* en schakelt de elektromotor *13* in. Deze zet nu de wissel om: schuif *6a* gaat omhoog (zodat regenerator *5a* verbinding krijgt met de schoorsteen, terwijl de luchttoevoer *7a* wordt afgesloten), en schuif *6b* gaat omlaag. In hun nieuwe eindstand gekomen, schakelen de schuiven, door middel van de eindschakelaar *19b*, de motor *13* uit.

De verstuivingsluchtdruk wordt links op de gewenste lage waarde gebracht doordat het beginsignaal van klok *10* de regelklep *14a* verstelt. De drukverlaging maakt dat de van de druk afhankelijke schakelaar *15a* in de stand *uit* komt te staan. Deze schakelaar is, in serie met het eindcontact *17a* van de wissel, opgenomen in de bekrachtigingsleiding van de afsluiter *12a*; de olietoevoer naar de branders *3a* kan straks dus niet hersteld worden voordat er voldoende verstuivingsdruk is en tevens de wissel in de juiste stand staat.

Om de branders *3b* van olie te voorzien, moet klep *11b* worden geopend. Daartoe moet afsluiter *12b* worden bekrachtigd, wat pas mogelijk is als de schakelaars *15b* en *17b* in staan. *17b* is in komen te staan bij het omlaag gaan van schuif *6b*. Voorwaarde voor het sluiten van *15b* is dat de verstuivingsdruk van branders *3b* hoog genoeg is, d.w.z. dat klep *14b* wijd open staat. Schakelklok *10* zorgt er dan ook voor dat *14b* in deze stand komt te staan — echter niet onmiddellijk, maar via het vertraagde relais *16b*. De vertragingstijd hiervan is nodig om de verbrandingslucht gelegenheid te geven, de rookgassen uit regenerator *5b* te verdrijven. Dit wordt nog bevorderd doordat gedurende de vertragingstijd een speciaal signaal („spoelsignaal") de regelklep voor de verbrandingslucht en die in het schoorsteenkanaal wijd open zet. Dank zij deze maatregel mag de olietoevoer eerder worden ingeschakeld.

Valt de elektrische of de pneumatische voeding uit, dan wordt de olietoevoer automatisch afgesloten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

automatisch wordt afgesloten. De werking ervan is beschreven in het onderschrift van fig. 3.

Regeling van de druk in de oven

Een nog niet genoemde grootheid die voor een goed verloop van het proces eveneens constant gehouden moet worden, is de druk in de oven. Als gevolg van het verbrandingsproces ontstaat in de oven een zekere drukverdeling en krijgen de aanwezige gassen bepaalde snelheden. Door de druk op een geschikte plaats te meten en te regelen, kan men het gehele drukverdelingspatroon stabiliseren. De druk in de oven moet iets hoger zijn dan die erbuiten, anders zou door kieren koude lucht worden aangezogen, wat een ongunstige invloed op de temperatuurverdeling zou hebben en soms ook op de verbranding. De overdruk mag echter slechts klein zijn, omdat het ontsnappen van hete gassen warmteverlies betekent en tevens de slijtage van de oven versnelt.

In met de hand geregelde kuipovens wordt de ovendruk ingesteld met behulp van schoorsteenschuiven, meestal brede en zware gietstalen schuiven in het kanaal dat naar de schoorsteen leidt. Het regelgebied wordt bestreken door de schuif enige cm omhoog of omlaag te bewegen. Voor het automatisch regelen is zo'n schuif weinig geschikt: de grote massa van de schuif (die dikwijls is voorzien van tegenwichten) leent zich niet tot snel regelen, en de maximale verplaatsing van slechts enkele cm staat een nauwkeurig en stabiel regelen in de weg. Het zou een verbetering zijn als men in de bestaande schuif een smallere en veel lichtere schuif monteerde, die door zijn kleinere breedte een grotere slag kon maken en door zijn geringere massa een snellere en nauwkeuriger regeling toeliet.

Een goede en goedkope oplossing voor automatisch regelen biedt het gebruik van instelbare „valse trek" (*fig. 4*). In het schoorsteenkanaal *1*, vóór de schuif *3*, is een ronde opening gemaakt, waarop een korte metalen zijbuis *5* is geplaatst. In deze buis bevindt zich een vlinderklep *6*, die door een pneumatisch of elektrisch servomotortje *7* kan worden bewogen, veel sneller dan mogelijk is met de schuif van de zoëven besproken systemen. Men regelt met de vlinderklep de druk die vóór de schoorsteenschuif heerst, door meer of minder lucht toe te laten.

Ook met dit systeem echter is de regelsnelheid niet groot genoeg om effectief de gevolgen van windstoten langs de schoorsteenmond te bestrijden. Windstoten veroorzaken drukgolven, vaak met een steil front, die zich met de snelheid van het geluid tot in de oven voortplanten en de daar heersende condities verstoren. In dit opzicht gunstiger dan een hoge stenen schoorsteen is een korte schoorsteen (die van metaal kan zijn) waarin met behulp van een luchtinjecteur een aanzienlijke onderdruk wordt opgewekt (*fig. 5*). Deze onderdruk maakt dat de drukvariaties door windstoten weinig invloed meer hebben. De juiste druk in de oven wordt verkregen door in het schoorsteenkanaal, door middel van een regelschuif, een bepaalde stromingsweerstand in te stellen.

Het systeem met korte schoorsteen is echter ook niet zonder bezwaren: de korte schoorsteen voldoet niet aan het in vele landen geldende voorschrift dat grote hoeveelheden verbrandingsgassen met een hoog zwavelgehalte (zoals die van stookolie) alleen op grote hoogte in de atmosfeer vrijgelaten mogen worden, en de energie die voor het injecteren nodig is, maakt de exploitatie-

Fig. 4

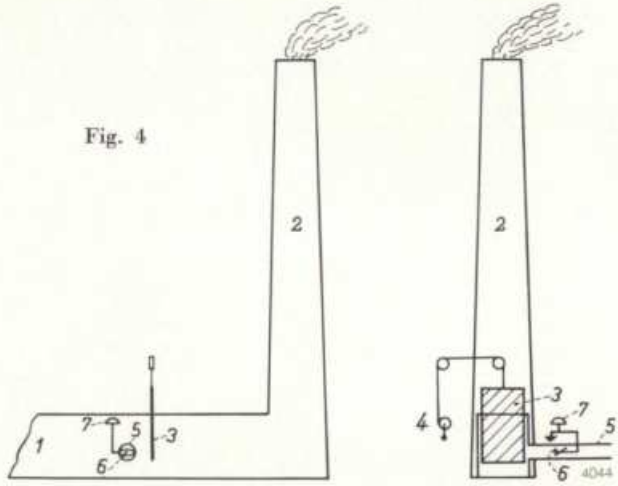


Fig. 4. Regeling van de druk in de oven door middel van „valse trek". *1* kanaal waardoor de verbrandingsgassen van de oven naar de schoorsteen *2* gaan. *3* schuif, verstelbaar met de handlier *4*. *5* zijbuis met vlinderklep *6*, draaibaar door middel van de servomotor *7*.

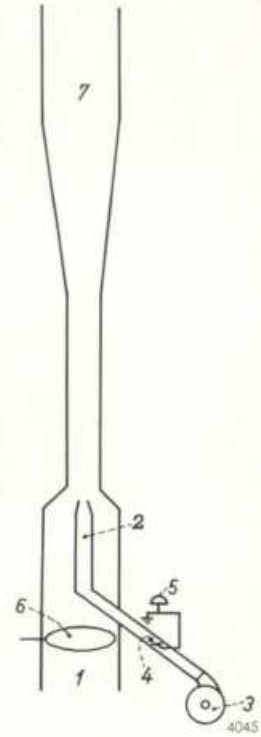


Fig. 5

Fig. 5. Ter ondervanging van de bezwaren die bij hoge schoorstenen door windstoten worden veroorzaakt, kan men een korte schoorsteen met luchtinjectie gebruiken. *1* afvoerkanaal van de verbrandingsgassen. *2* luchtinjecteur, met ventilator *3*, regelklep *4* en servomotor *5*. *6* regelschuif, waarmee een zodanige stromingsweerstand wordt ingesteld dat vóór de schuif de juiste onderdruk ontstaat. *7* korte schoorsteen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kosten tot een veelvoud van die van een hoge schoorsteen.

Bij sommige glasfabrieken van Philips worden hoge, bij andere lage schoorstenen gebruikt. *Fig. 6* toont het uiterlijk van de persglasfabriek te Eindhoven met zijn twee hoge schoorstenen.

Regeling van temperatuur en niveau in de toevoerkanalen

Richten we nu onze aandacht op het laatste gedeelte van de weg die het glas aflegt alvorens het verwerkt wordt: de toevoerkanalen naar de verwerkingsmachines. Deze kanalen moeten per tijdseenheid een constante hoeveelheid glas van constante viscositeit leveren. Daar directe meting en regeling van de viscositeit niet tot de praktische mogelijkheden behoort, kiest men een indirecte weg om deze grootheid zo goed mogelijk in de hand te houden, namelijk regeling van de temperatuur van het glas. De viscositeit wordt echter niet alleen door de temperatuur bepaald, maar ook door de samenstelling van het glas. Veranderingen in de samenstelling treden soms op in de vorm van onregelmatig verdeelde inhomogeniteiten (slieren) en kunnen het gevolg zijn van een gewijzigde samenstelling van het grondstoffenmengsel. Hoe minder zulke afwijkingen voorkomen, des te beter is een temperatuurregelaar in staat, de juiste viscositeit te handhaven.

De hoeveelheid glas die een toevoerkanaal per tijdseenheid levert, is afhankelijk van de viscositeit en de druk ter plaatse van de uitstromingsopening. Om de druk constant te houden, moet men zorgen voor een constant glasniveau. Dit niveau wordt daartoe voortdurend gemeten, en afwijkingen van de gewenste hoogte laat men terugwerken op de snelheid waarmee het grondstoffenmengsel aan de smeltoven wordt toegevoerd. Deze regeling van de automatische toevoer is tevens bevorderlijk voor het constant houden van de smeltcondities en het stromingspatroon in de kuipoven.

In de praktijk is gebleken dat een nauwkeurige niveauregeling de levensduur van de smeltkuip aanmerkelijk verlengt.

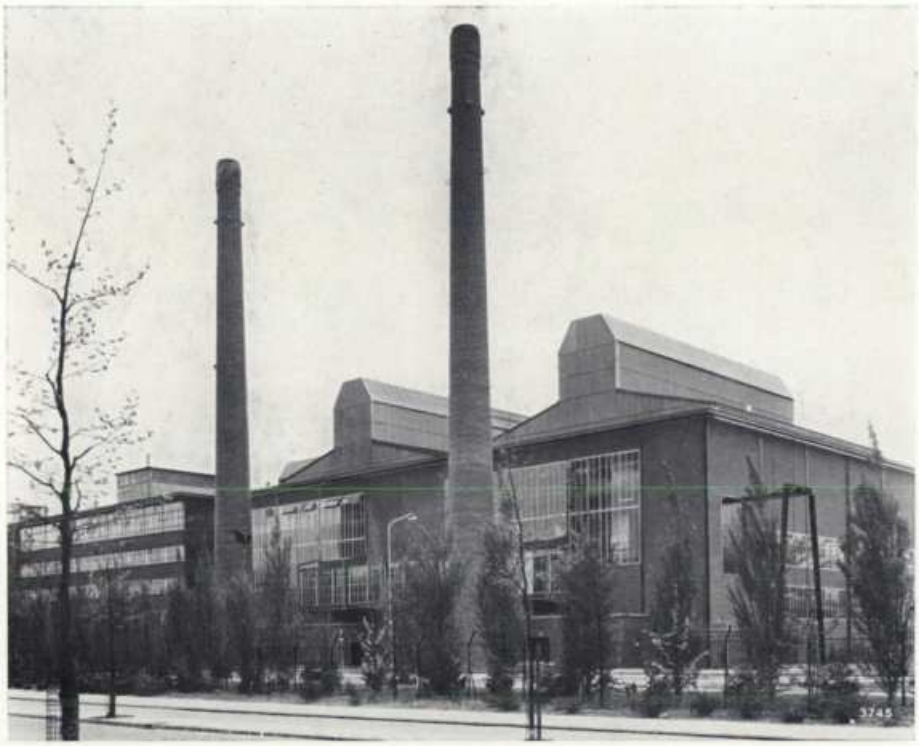


Fig. 6. Philips' persglasfabriek te Eindhoven.

Het vloeibare glas tast de wand van de kuip aan, vooral ter hoogte van het glasoppervlak. Dientengevolge ontstaat hier op den duur een groef, en deze is des te smaller naarmate het glasniveau minder varieert. Dat dit, naar de praktijk leert, gepaard gaat met een langere levensduur van de kuip, heeft vermoedelijk de volgende oorzaak: in de smalle groef is het glas vrijwel stationair, zodat het aldaar aanwezige glas na enige tijd verzadigd raakt met opgelost wandmateriaal, en verdere aantasting veel langzamer gaat.

Eisen die aan de meet- en regelapparatuur worden gesteld

Een voorname eis die aan meet- en regelapparatuur wordt gesteld, is dat bij een verandering in de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarde van de geregelde grootheid de juiste waarde snel wordt hersteld. Afhankelijk van de eigenschappen van het te regelen proces en van de gebruikte regelinstrumenten, is deze snelheid aan een grens gebonden. Bij het overschrijden hiervan ontstaat instabiliteit, d.w.z. na een storing blijft de waarde van de geregelde grootheid met een bepaalde amplitude om de ingestelde waarde heen schommelen. Dit verschijnsel is indertijd in dit tijdschrift uitvoerig besproken, in een artikel dat een overzicht gaf van regelsystemen [2]). Hier volgt een korte recapitulatie ervan.

De werking van regelaars berust op het vergelijken van de gemeten waarde der te regelen grootheid met de ingestelde waarde. Men onderscheidt twee hoofdgroepen: discontinu werkende en continu werkende regelaars. De eerstgenoemde groep, ook wel die der aan-uitregelaars genoemd, heeft het voordeel van grote eenvoud en betrouwbaarheid. Discontinue regelaars zijn echter van nature instabiel: de te regelen grootheid schommelt voortdurend om de ingestelde waarde heen. Is in bepaalde gevallen de amplitude van de schommeling te groot, dan zal men een continue regelaar moeten kiezen. Hierbij bestaat de werking die de regelaar op het stuurorgaan uitoefent, gewoonlijk uit een proportioneel deel en een integrerend deel, en in bijzondere gevallen ook nog uit een differentiërend deel. Een uitsluitend proportioneel werkende regeling heeft het nadeel dat de ingestelde waarde nooit ten volle bereikt wordt, wat bij integrerende regeling wèl het geval is. Bij deze laatste regeling ligt echter de grens waarbij, als men de gevoeligheid opvoert, instabiliteit optreedt, lager dan bij proportionele regeling. Het beste resultaat krijgt men in het algemeen door proportionele en integrerende regeling te combineren. Differentiërende regeling heeft een dempende functie en wordt alleen toegepast om van regelsystemen die bijzonder snel moeten zijn, de stabiliteit te verbeteren.

Voldoende stabiliteit is overigens bijna altijd ook te waarborgen door een juiste keus van de gevoeligheid van de meetapparatuur. Er zijn echter gevallen waarin de regeling dan ontoelaatbaar traag zou zijn, doordat het proces zelf, de meetapparatuur of de regelorganen een grote traagheid bezitten. Hoe de traagheid van een regelorgaan verbeterd kan worden, is boven al besproken bij de regeling van de druk in de oven (vervanging van een zware schuif door een lichtere). Aan twee andere praktische voorbeelden willen we nu nog laten zien hoe het in bepaalde gevallen is gelukt, een onderdeel van het proces resp. de meetapparatuur minder traag te maken.

Bij de regeling van het glasniveau is al gezegd dat dit niveau voortdurend wordt gemeten, waarbij afwijkingen van de gewenste hoogte terugwerken op de snelheid waarmee het grondstoffenmengsel wordt toegevoerd. Tussen de smeltkuip en de werkkuip — dus vóór het punt waar men het niveau meet — bevindt zich een verbindingskanaal. Het dient om verontreinigingen en inhomogeniteiten die zich aan het glasoppervlak bevinden, tegen te houden, en om ongewenste stromingen langs de bodem van de smeltkuip te belemmeren. Om deze laatste reden mag het verbindingskanaal niet te wijd zijn. Bij sommige bestaande installaties echter was het zo nauw dat een verstoring van het niveau in de smeltkuip pas met grote vertraging tot uiting kwam bij het meetpunt Door verbreding van het verbindingskanaal is deze vertraging verkleind.

Als laatste voorbeeld kiezen we er een dat betrekking heeft op de inrichting voor het meten van de temperatuur boven in de oven. Volgens een oude en bekende methode wordt in het gewelf van de oven een steen geplaatst waarin een holte is geboord voor het aanbrengen van het thermokoppel. De steen, die het thermokoppel beschermt, heeft een wanddikte van enige cm. Het resultaat is dat de gemeten waarde aanzienlijk lager is dan die welke men zou meten met een minder rigoureus beschermd thermokoppel, en dat veranderingen in de oventemperatuur sterk vertraagd in de meting tot uiting komen. Vervanging van de steen door een dunwandig beschermbuisje dat door het gewelf heen een tiental cm diep in de oven steekt, maakt de vertraging veel kleiner. Dit komt de automatische temperatuurregeling zeer ten goede.

Een eigenschap die alle meet- en regelapparatuur voor kostbare continue processen in bijzonder hoge mate moet bezitten, is betrouwbaarheid. Dit zal tot uitdrukking komen in de aanleg van de installatie zowel als bij de keus van de instrumenten. Bij het aanleggen moet men erop letten dat ieder enigszins kwetsbaar onderdeel gemakkelijk bereikbaar is en snel vervangen kan worden. Dit geldt ook voor regelafsluiters, meetflenzen, enz., die in het pijpwerk zijn opgenomen. Deze onderdelen behoren alle van de installatie geïsoleerd te kunnen worden en voorzien te zijn van een afsluitbare omloop, dit laatste om verwisseling mogelijk te maken zonder dat de installatie buiten werking behoeft te worden gesteld. Om snel een storing te kunnen lokaliseren, moeten goed toegankelijke en logisch opgestelde punten aanwezig zijn waar de nodige controle-

[2]) H. J. Roosdorp, Beschouwingen over het regelen van industriële processen, Philips techn. T. **12**, 225-231, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

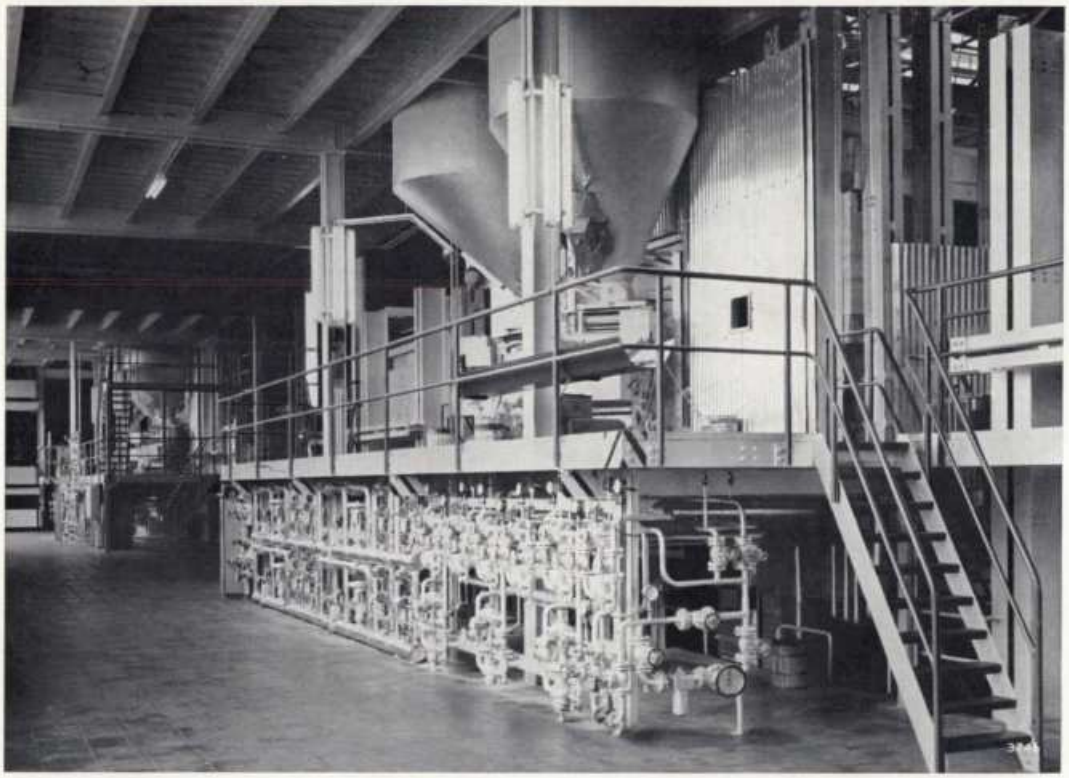


Fig. 7. De twee ovens in de persglasfabriek te Eindhoven. Boven het bordes de bunkers die het grondstoffenmengsel bevatten en in de toevoermachines uitmonden. De gegolfde platen schermen de straling van de oven af. Onder het bordes de kleppen van het regelsysteem.

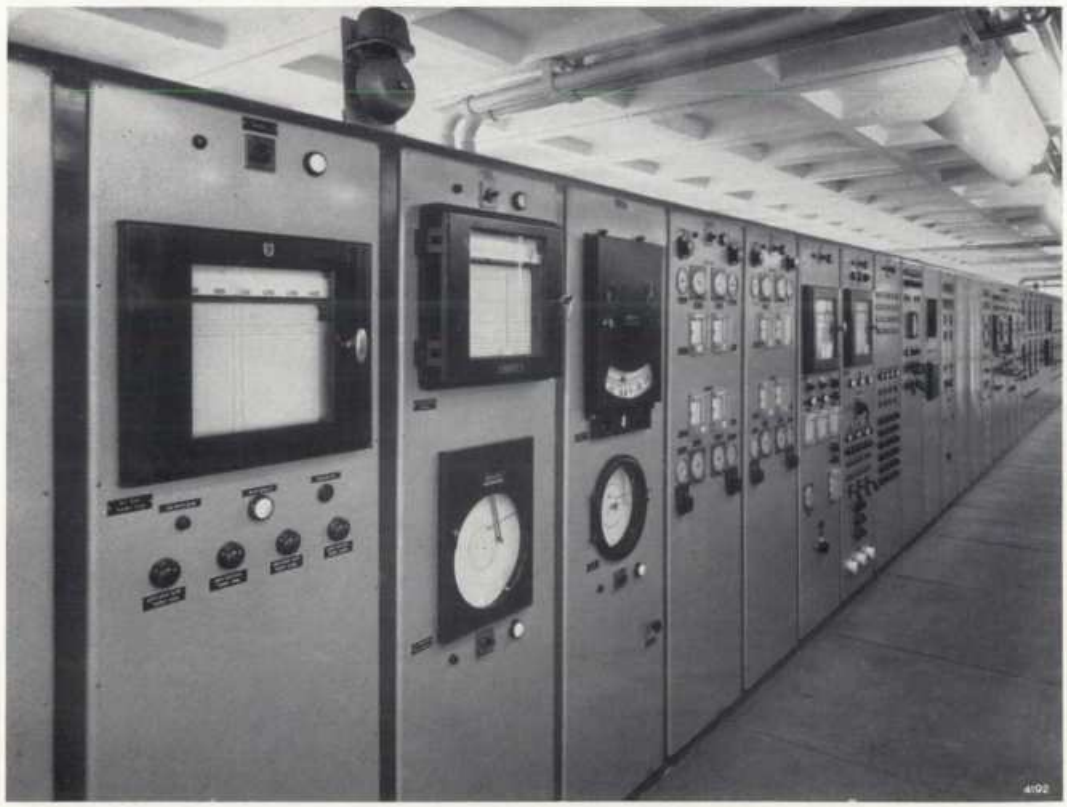


Fig. 8. Bedieningspanelen, behorend bij het in hoofdzaak pneumatische regelsysteem van de in fig. 7 afgebeelde persglasovens. Op de panelen bevinden zich bedieningsknoppen, registrerende en andere meetinstrumenten, signaallampjes, enz.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

metingen verricht kunnen worden. Wenselijk is een zodanige inrichting dat signaallampjes zelf reeds een defect lokaliseren. Ook voor het kiezen van de instrumenten is betrouwbaarheid de overwegende factor, terwijl de aanschaffingskosten slechts van ondergeschikt belang zijn.

Fig. 7 geeft een beeld van de ovens in de persglasfabriek te Eindhoven. Onder het bordes ziet men de kleppen van het in hoofdzaak pneumatische regelsysteem. De bijbehorende bedieningspanelen met meetinstrumenten, signaallampjes, enz. zijn afgebeeld in *fig. 8*.

Tot dusverre zijn in de glasfabricage vrijwel uitsluitend pneumatische regelaars gebruikt. Sinds kort echter beginnen elektronische regelaars zich een plaats te verwerven. Mede aan de transistor is het te danken dat ook deze regelaars de hoge mate van betrouwbaarheid bezitten die voor industriële toepassingen onontbeerlijk is. Elektronische systemen komen vooral daar in aanmerking waar het meten en regelen met bijzonder weinig traagheid moet gebeuren.

Samenvatting. Aan een beschouwing over de grootheden die in de glasfabricage in aanmerking komen voor automatische regeling, gaat een korte beschrijving van de glasbereiding vooraf. Daarbij wordt ingegaan op de recuperatieve en de regeneratieve kuipoven. Voor een goede gang van het proces is automatische regeling van alle grootheden wenselijk die invloed op het proces hebben (conditieregeling). Zo zijn afzonderlijke regelaars nodig voor de volgende grootheden: de temperatuur van de stookolie, de oliestroom, de druk van de olieverstuivingslucht, de verbrandingsluchtstroom, de verhouding olie : lucht, de druk in de oven, en de temperatuur en het niveau van het vloeibare glas in de toevoerkanalen van de verwerkingsmachines. Besproken wordt het automatisch wisselen, dat bij een regeneratieve oven iedere 20 tot 30 minuten moet gebeuren. Bij de keus en de aanleg van de regelapparatuur — tot dusverre in hoofdzaak pneumatisch — valt de nadruk op de betrouwbaarheid. De laatste tijd begint in de glasfabricage ook elektronische regelapparatuur zich een plaats te verwerven.

MACHINALE VERVAARDIGING VAN BALLONS VOOR GLOEILAMPEN EN RADIOBUIZEN

door P. van ZONNEVELD *). 666.1.032:621.326.61

De fabricage van holle glazen voorwerpen, zoals flessen, potten, inmaakglazen, enz. geschiedt al sinds vele jaren in hoofdzaak machinaal en nog slechts op bescheiden schaal met de hand. Alleen daar waar men kleine hoeveelheden van een produkt moet maken en eventueel tevens de mogelijkheid wenst te hebben om verschillende produkten tegelijkertijd te fabriceren of snel van glassoort te veranderen, is fabricage met de hand te prefereren boven machinale produktie.

Machines die men voor de produktie van ballons voor gloeilampen of radiobuizen wil gebruiken, moeten in staat zijn een produkt af te leveren waarvan de wand vrij dun is, geen grote variaties van dikte vertoont en — althans voor gloeilampen — optisch niet al te slecht is. Men kan derhalve geen ballons maken met een flessenmachine.

De machines die hun produkt vervaardigen uitgaande van vloeibaar glas, kan men in twee groepen verdelen, te weten de machines die het glas opzuigen van het oppervlak van een bad vloeibaar glas, en die welke hun glas ontvangen via een afvoer in de bodem van het reservoir waarin zich het vloeibare glas bevindt. De laatste kan men weer verdelen in machines die het glas ontvangen in porties, en machines aan welke continu glas wordt toegevoerd.

Zoals we aanstonds nog nader zullen zien, is het oneconomisch om zeer kleine voorwerpen met deze machines te maken. Speciaal voor de produktie van kleine voorwerpen zijn er daarom machines ontwikkeld die niet uitgaan van vloeibaar glas, doch waaraan men als uitgangsmateriaal buisglas toevoert.

We zullen in dit artikel drie verschillende machines bespreken die vloeibaar glas verwerken. Daarbij zullen we de meeste aandacht schenken aan een te Eindhoven ontwikkelde machine die de eigenschap heeft dat hij werkt zonder glasverlies: de porties glas die aan deze machine worden toegevoerd, behoeven niet zwaarder te zijn dan de te fabriceren ballons.

Wat betreft de machines die buisglas verwerken, zullen we eerst een, eveneens te Eindhoven ontwikkelde, 18-voudige machine behandelen die korte stukjes buis verwerkt (één stukje voor één ballon). Vervolgens zullen we in 't kort bespreken op welke wijze uit deze machine nieuwe machines ontwikkeld zijn (resp. worden).

Alvorens tot de bespreking van machines over te gaan, willen we nog in 't kort memoreren op welke

*) Hoofdindustriegroep Glas, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wijze het glasblazen met de hand plaatsvindt. De glasblazer begint hierbij met het uiteinde van zijn blaaspijp in het vloeibare glas te dompelen en aldus al draaiend een portie glas te „vangen" (*fig. 1a*). Hij moet er daarbij uiteraard voor zorgen niet veel meer of minder te vangen dan gewenst is. Vervolgens rolt hij het vloeibare glas op een plaat — het zg. walsen —, ten einde het deel van de portie glas dat zich rondom de pijp bevindt, en dat dus niet uitgeblazen kan worden, zo klein mogelijk te maken (fig. 1*b*). Vervolgens blaast hij wat lucht in de glasmassa en sluit de blaaspijp van boven met zijn duim af. Door de thermische expansie van de lucht doet deze de holle glasmassa — de zg. kloos — nog verder opzwellen. Om het uitzakken van de kloos tot de vereiste lengte wat sneller te doen verlopen dan onder de invloed van de zwaartekracht zou geschieden, zwaait de glasblazer inmiddels de blaaspijp heen en weer. Voor het verkrijgen van een goede verdeling van het glas houdt hij soms ook de blaaspijp, tijdens het expanderen van de lucht, enige tijd schuin of verticaal omhoog. Vervolgens brengt hij de kloos tussen de vormhelften, sluit deze en blaast tot het glas aansluit tegen de binnenwand van de vorm (fig. 1*c* en 1*d*). Het koelt daarbij zover af dat het vast wordt. Ten slotte wordt het glas van de blaaspijp verwijderd en kan de glasblazer een nieuwe portie glas gaan halen. Zijn produkt is overigens op dit ogenblik nog niet gereed. Er moet in de regel aan het boveneinde een stuk overtollig glas worden afgesneden (fig. 1*e*). *Fig. 2* toont een aantal glasblazers in actie. Sommige van de stappen van het hierboven beschreven produktieproces zal men terugvinden in de nu te bespreken machines die vloeibaar glas verwerken.

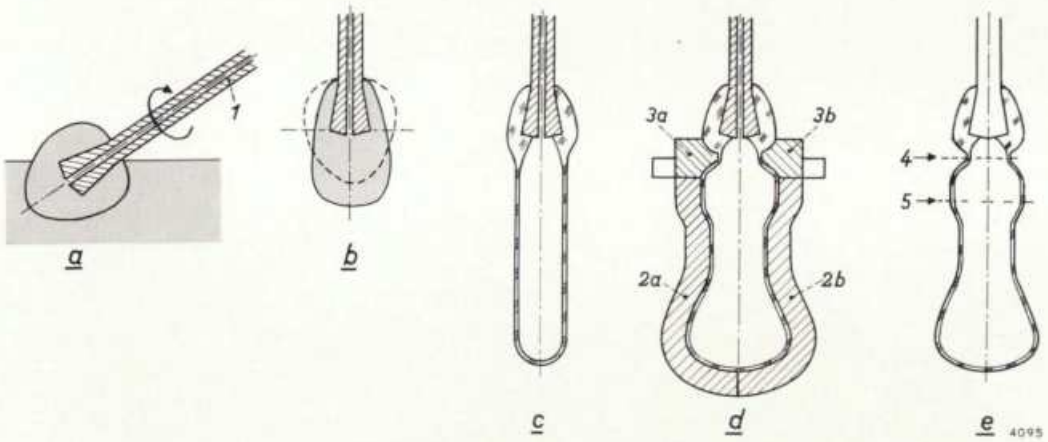


Fig. 1. De belangrijkste fazen van het glasblazen met de hand. *a*) Het „glashalen": hierbij wordt het einde van de blaaspijp *1* in aanraking gebracht met het vloeibare glas (geschaduwd), en gedraaid tot er zich een klompje glas van de gewenste grootte aan heeft vastgehecht.
b) Door het klompje op een plaat te walsen, wordt het deel van het glas dat niet uitgeblazen kan worden (boven de horizontale streeplijn) zo klein mogelijk gemaakt.
c) De holle glasmassa — de „kloos" — die in de blaasvorm gebracht wordt. Door allerlei manipulaties (zwaaien, omhooghouden) heeft de glasblazer voor een zodanige verdeling van het glas gezorgd dat het te blazen produkt een niet al te zeer variërende wanddikte krijgt.
d) De geblazen ballon in de vormhelften (2*a* en 2*b*), die van onderen aansluiten op de zg. kap (3*a* en 3*b*). Zoals men ziet blijft de blaaspijp buiten de vorm.
e) Na het blazen wordt de ballon van de blaaspijp losgemaakt (bij *4*) en wordt het overtollige glas van de ballon afgesneden (bij *5*). Het glas dat aan de blaaspijp is blijven zitten, wordt eveneens verwijderd alvorens de glasblazer nieuw glas gaat „halen".

Machines die ballons maken uit vloeibaar glas

De Eindhovense 16-kops-machine

Bij de, te Eindhoven ontwikkelde, machine voor de verwerking van vloeibaar glas worden de glasporties verkregen doordat de stroperige glasstraal, die met een constant debiet uit een gat in de ovenbodem stroomt, op regelmatige tijden wordt doorgeknipt. De schaar (zie *fig. 3* en *4*) bestaat uit twee over elkaar glijdende messen, die ieder een ongeveer V-vormige snijkant hebben.

De machine zelf bestaat uit een continu om een verticale as draaiende plaat, de zg. molenplaat, waarop zich 16 opvangorganen voor de glasporties en eveneens 16 complete glasblaaseenheden bevinden. De opvangorganen worden mechanisch bediend, de glasblaaseenheden in hoofdzaak pneumatisch. Iedere glasblaaseenheid heeft daartoe een eigen stel commandokleppen, dat gedurende één omwenteling van de molenplaat zodanig wordt bespeeld dat deze eenheid één ballon maakt. De

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 2. Glasblazers aan de arbeid. De glasblazer geheel rechts heeft juist glas „gehaald" en is begonnen met het vormen van een goede kloos. De man in het midden (voorgrond) is daarmee klaar en staat op het punt de blaasvorm (met een pedaal) te sluiten. De derde controleert zijn zojuist vervaardigde produkt. De man geheel links verwijdert de ballons van de blaaspijpen. Tussen de twee eerstgenoemde glasblazers ziet men een tafeltje waarop gewalst kan worden.

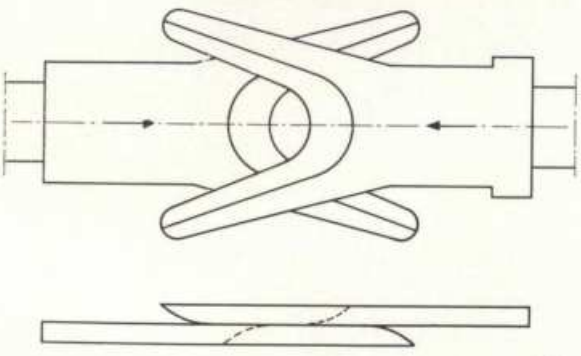


Fig. 3. Schaar waarmee de stroperige glasstraal, die uit een opening in de ovenbodem vloeit, in porties wordt geknipt (schematisch). De beide V-vormige messen glijden in de richting van de pijltjes over elkaar.

machine produceert dus 16 ballons per omwenteling.

Zodra een portie glas is afgeknipt, valt deze in een bakje, dat deel uitmaakt van het opvangorgaan. Het bakje, dat zich op dat ogenblik dicht bij de rand van de molenplaat bevindt, beweegt zich vervolgens een eindje in de richting van het hart van de machine tot onder de blaaskop van de bijbehorende glasblaaseenheid. De wijze waarop deze het glas uit het bakje overneemt en er vervolgens een ballon van maakt, bespreken we aan de hand van *fig. 5a*.

In deze figuur is *A* het (blauw getekende) bakje met vloeibaar glas. Het is gemonteerd in een (eveneens blauw getekende) houder, die zich in een gleuf

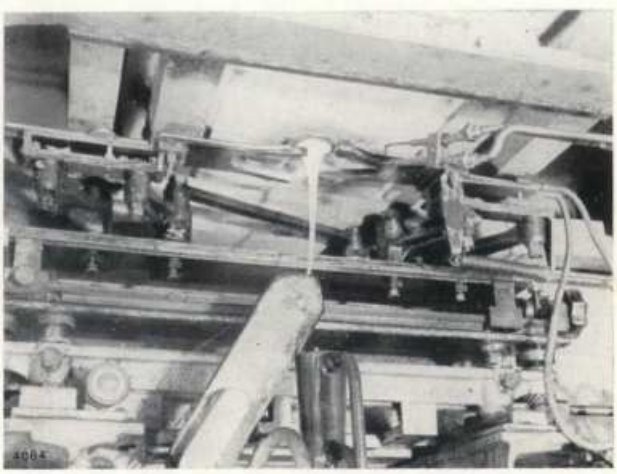


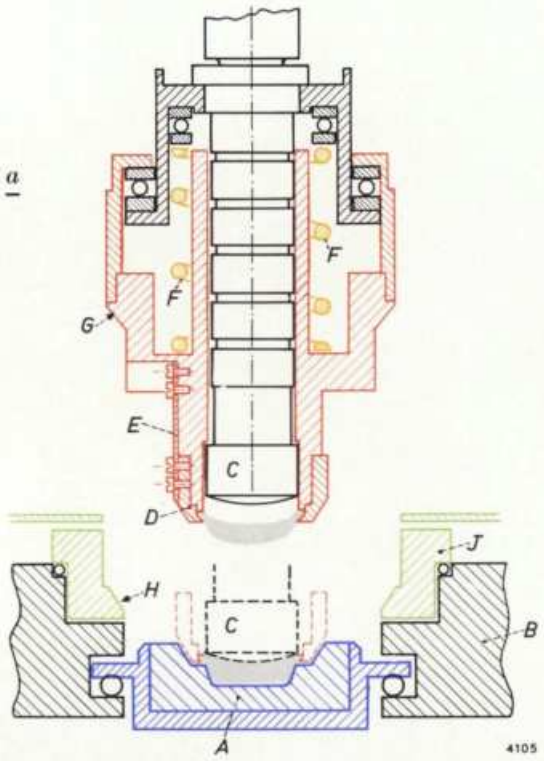
Fig. 4. Schaar voor het knippen van glasporties, gemonteerd onder de ovenbodem. Daar de machine voor het nemen van de foto stilgezet moest worden, wordt de glasstraal door een goot opzij afgeleid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in de molenplaat *B* radiaal kan bewegen. Heeft het bakje de goede positie onder de blaaskop gekregen, dan komt deze naar beneden (zie streeplijnen), en de stempel *C* perst het glas (geschaduwd) in de klauwtjes *D*. Deze zijn opgehangen aan de bladveren *E*. De klauwtjes sluiten opzij aan elkaar, zodat het glas niet tussen twee ervan kan doorvloeien. Bij deze stempeloperatie rust het rood getekende gedeelte van de blaaskop op de rand van het bakje en schuift de stempel ten opzichte van dit gedeelte naar de buitenrand van de molenplaat. De blaaskop krijgt zodoende gelegenheid tot het uitvoeren van de verdere operaties. Hij gaat daartoe weer naar beneden en stuit met de conische rand *G* op de soortgelijke rand *H* van een ring *J* (groen getekend), die op de molenplaat rust en die permanent roteert. Het rood getekende deel van de blaaskop gaat dus ook roteren. Het onderste deel ervan, met de opgenomen portie glas, steekt nu onder de molenplaat uit en bevindt zich vlak boven de, vooralsnog geopende, blaasvorm. Het glas, dat direct na het opnemen reeds begon uit te zakken, wordt nu (voor die ballonvormen waarbij dat nodig is) verwarmd door een onder aan de molenplaat gemonteerde brander.

Ten einde het uitzakken te versnellen en het zodanig te doen geschieden als voor het verkrijgen van een ballon met ongeveer constante wanddikte nodig is, wordt enige malen achtereen een luchtstoot



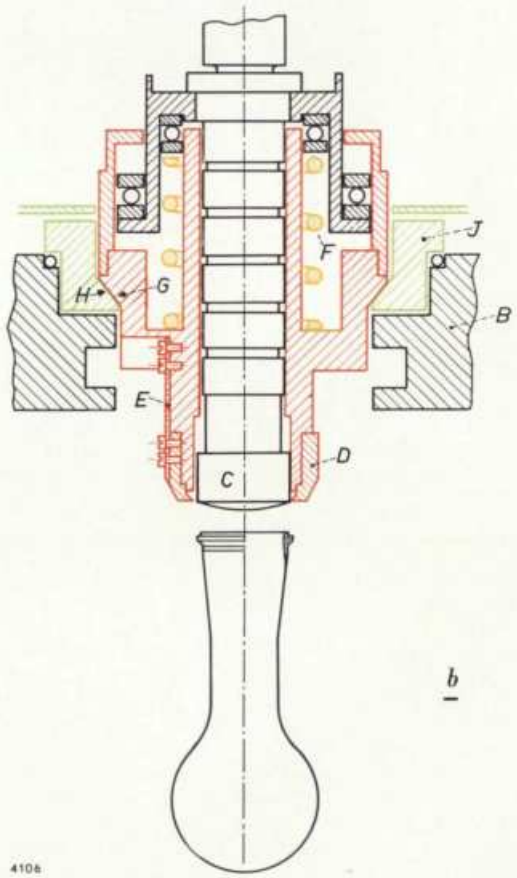


Fig. 5. *a*) Schematische doorsnede van een blaaskop (rood-zwart-geel) met opvangorgaan (blauw) en een deel van de molenplaat. *A* opvangbakje voor portie vloeibaar glas, gemonteerd in plaatje (het „schuifje"), dat zich bewegen kan in een radiale spleet in de molenplaat *B*. *C* stempel. *D* een der klauwtjes, die na het stempelen het glas (geschaduwd) vasthouden; de stempelpositie is getekend in streeplijntjes. *E* bladveer waaraan *D* bevestigd is. *F* veer (geel). *G* conische rand waarmee het rood getekende deel tijdens het uitzakken van de portie glas, het blazen van de ballon en het uitstoten, rust op de conische rand *H* van de permanent roterende ring *J* (groen).
b) De geproduceerde ballon wordt uitgestoten door de stempel *C*. Deze kan zich ten opzichte van het rood getekende deel bewegen doordat dit op de ring *J* rust. De veer *F* wordt bij het uitstoten nog wat verder ingedrukt dan bij het stempelen.

beneden. De veer *F* (geel) wordt daarbij wat ingedrukt. Vervolgens keren de stempel en het overige deel van de blaaskop naar de beginstand terug — dit is de in fig. 5*a* getekende positie; het rood getekende deel hangt nu aan het zwart getekende — en beweegt het, thans lege, opvangorgaan zich weer naar in de kloos gegeven (het zg. puffen). Deze lucht wordt toegevoerd via een leiding in de stempelstang en kan, als de stempel de in fig. 5*a* getekende stand inneemt, het inwendige van de kloos bereiken door om de stempel heen te stromen. Men zal opmerken dat, voor het verkrijgen van een goede glasverdeling

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in de kloos, de machine over minder bewegingsmogelijkheden beschikt dan een levende glasblazer; de juiste keus van de sterkte en de duur van de luchtstoten is dus van groot belang. Is het uitzakken ver genoeg gevorderd, dan sluiten zich de twee helften van de blaasvorm en wordt er lucht in de kloos geblazen. Deze neemt daardoor de vorm aan van de binnenwand van de blaasvorm. Vervolgens gaat de vorm weer open en wordt de gefabriceerde ballon uit de klauwtjes losgemaakt. Dit geschiedt door de stempel, die daartoe nog eens omlaag komt — het rood getekende deel kan niet zakken doordat het op de molenplaat rust; de veer *F* wordt nu vrij sterk ingedrukt (fig. 5*b*) — en op de bovenrand van de ballon gaat drukken, zodat deze de klauwtjes doet uitveren. De uitgestoten ballon valt op een transportband. Ten slotte keert de blaaskop terug naar de beginstand. Het opvangorgaan en de blaaseenheid zijn dan gereed om een nieuwe portie glas te ontvangen. De gelijktijdigheid van de beweging van de molenplaat en van de schaar wordt tot stand gebracht door beide aan te drijven met een synchrone motor.

Er zij nog vermeld dat de blaasvorm van het zg. „paste mold"-type is, dat wil zeggen dat de binnenkant ervan bekleed is. In de hier beschreven machine bestaat de bekleding uit een laagje grafiet. Zolang de vorm open is, wordt de bekleding bespoten met koud water. Bij het volblazen van de ballon, die ook in de vorm blijft roteren, ontstaat uit dit water een kleine hoeveelheid damp, die ervoor zorgt dat het glas niet met de vorm in aanraking komt. Zodoende wordt een zeer glad glasoppervlak verkregen.

De verticale beweging van blaaskop en stempel komt langs pneumatische weg tot stand door middel van een verticale cilinder met zuiger die zich boven de blaaskop bevindt. In *fig. 6*, waarin men dit schematisch vindt weergegeven, zijn de standen gemarkeerd die de zuiger bij de verschillende stadia van het fabricageproces inneemt. Men ziet dat alleen de laagste (na uitstoten van de ballon) bepaald wordt door de afmetingen van de cilinder; de stempel- en de blaasstand worden bepaald doordat de blaaskop resp. op het opvangorgaan en de roterende ring rust.

De kleppen in de leidingen voor de toevoer en afvoer van de samengeperste lucht worden mechanisch bediend. De wijze waarop dit geschiedt en waarop ook de kleppen voor de gas- en luchttoevoer van de brander bediend worden, is de volgende. Op ongeveer 1 meter hoogte boven de molenplaat bevindt zich boven iedere blaaseenheid een zg. kleppenbalk. Dit is een ongeveer radiaal gemonteerde balk, die star met de molenplaat verbonden is en dus meedraait. Op iedere kleppenbalk bevinden zich de bij één blaaseenheid behorende kleppen. Deze kleppen worden via hefbomen gecommandeerd door

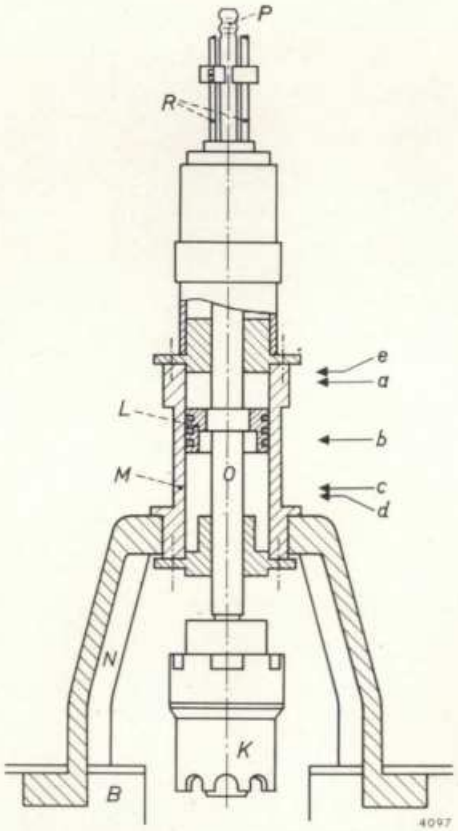


Fig. 6. De verticale beweging van de stempel-blaaskop *K* geschiedt pneumatisch door middel van de zuiger *L*, die in de cilinder *M* kan bewegen. Deze cilinder is met twee steunen *N* op de molenplaat *B* gemonteerd. De zuigerstang *O*, die aan zijn ondereinde de blaaskop draagt, is ook naar boven verlengd om het geheel te kunnen arrêteren. De standen die de bovenkant van de zuiger in de diverse fazen van het fabricageproces inneemt, zijn: *a* stand die voorafgaat aan het stempelen; deze stand is zo hoog dat het schuifje met het bakje vloeibaar glas onder de stempel-blaaskop kan schuiven; *b* stempelstand; *c* stand voor uitzakken en volblazen; *d* uitstootstand. De stand *e* wordt ingenomen na het arrêteren. De canule *P* dient voor toevoer van lucht, via de buisjes *R* stroomt koelwater door de ruimte tussen de binnen- en de buitenbuis die samen de zuigerstang vormen.

instelbare nokken die aan de onderkant van een vast opgestelde nokkenplaat zijn aangebracht (*fig. 7*). Bij het roteren van de machine passeren de hefbomen van de overeenkomstige kleppen van de zestien blaaseenheden dus alle na elkaar dezelfde nokken. Daar men het begintijdstip en de duur van iedere handeling moet kunnen variëren ten einde de optimale condities voor het blazen van goede ballons te vinden, is elke nok uitgevoerd als combinatie van twee, gedeeltelijk tegen elkaar liggende stroken, die ten opzichte van elkaar verschuifbaar zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

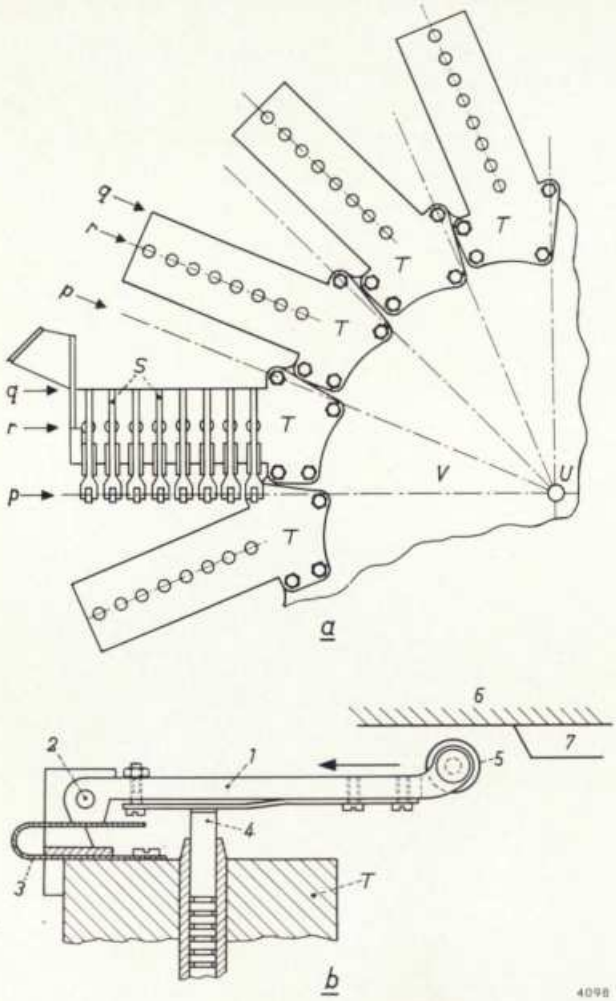


Fig. 7. *a*) De hefbomen *S*, die de kleppen bedienen, zijn tangentieel gericht en zodanig op de kleppenbalk *T* gemonteerd dat de rollen die zich aan het ene eind bevinden en die over de nokken bewegen, gelegen zijn op een lijn *p* die de hartlijn van de machine (*U*) snijdt. De legers van de hefbomen bevinden zich op de lijn *q*, de plunjers van de kleppen op de lijn *r*. De 16 kleppenbalken zijn vastgeschroefd aan een centrale plaat *V*, die aan de centrale as van de machine is vastgemaakt. Het geheel roteert dus als de machine werkt. *b*) Zijaanzicht van een der hefbomen. *1* hefboomarm. *2* leger; dit is zo gemaakt dat men de hefboom er met een eenvoudige handbeweging kan uitnemen, en wel door indrukken van de bladveer *3* en de plunjer *4* van de klep. *5* rol die zich onder langs de nokkenplaat *6* beweegt. *7* nok. De kleppenbalk beweegt zich ten opzichte van de nokkenplaat in de richting van de pijl.

alleen bepaald door de totale tijd die voor het maken van een ballon nodig is. Daar deze tijd ca. 15 seconden bedraagt, is het produktietempo dus ruim één ballon per seconde of ca. 4000 per uur. Ook mechanisch is een continu draaiende machine te prefereren boven een met intermitterende beweging; vooral bij zware machines is dit een punt van belang. Een derde voordeel van het werken met complete blaaseenheden is dat een daarmee uitgeruste machine *tegelijkertijd verschillende soorten ballons* kan maken. De enige beperking daarbij is dat de ballons even zwaar moeten zijn en dat alle soorten gemaakt moeten kunnen worden met dezelfde stand van de nokken.

In *fig. 8* en *9* vindt men foto's van een machine

Een groot voordeel van het hier toegepaste systeem, waarbij de machine dus continu kan draaien, is dat een ballon nooit op het begin van een volgende bewerking behoeft te „wachten". Bij machines die niet zijn uitgerust met volledige blaaseenheden, en waar dus iedere bewerking geschiedt op een bepaalde plaats, terwijl de machine zolang stilstaat, is dat wèl het geval. Daar wordt het tempo immers bepaald door de (in één der standen uitgevoerde) bewerking die het langste duurt. Bij de hier beschreven machine wordt het tempo, i.c. de omwentelingstijd van de machine,

Fig. 8. Detail van de machine van fig. 9. Men ziet hier b.v. heel duidelijk twee (bij elkaar horende) blaasvormhelften *1a* en *1b* en het schuifje *2*. Het wordt, zodra een portie glas door het gat *3* in het bakje gevallen is, naar binnen geschoven door de hefboom *4*, die met een vork om een rolletje grijpt. Deze hefboom wordt zelf om zijn as gedraaid (het cijfer *5* verwijst naar de overeenkomstige as in een der naburige blaaseenheden) door een nok *6* op de, naast de roterende molenplaat opgestelde, balk *7*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

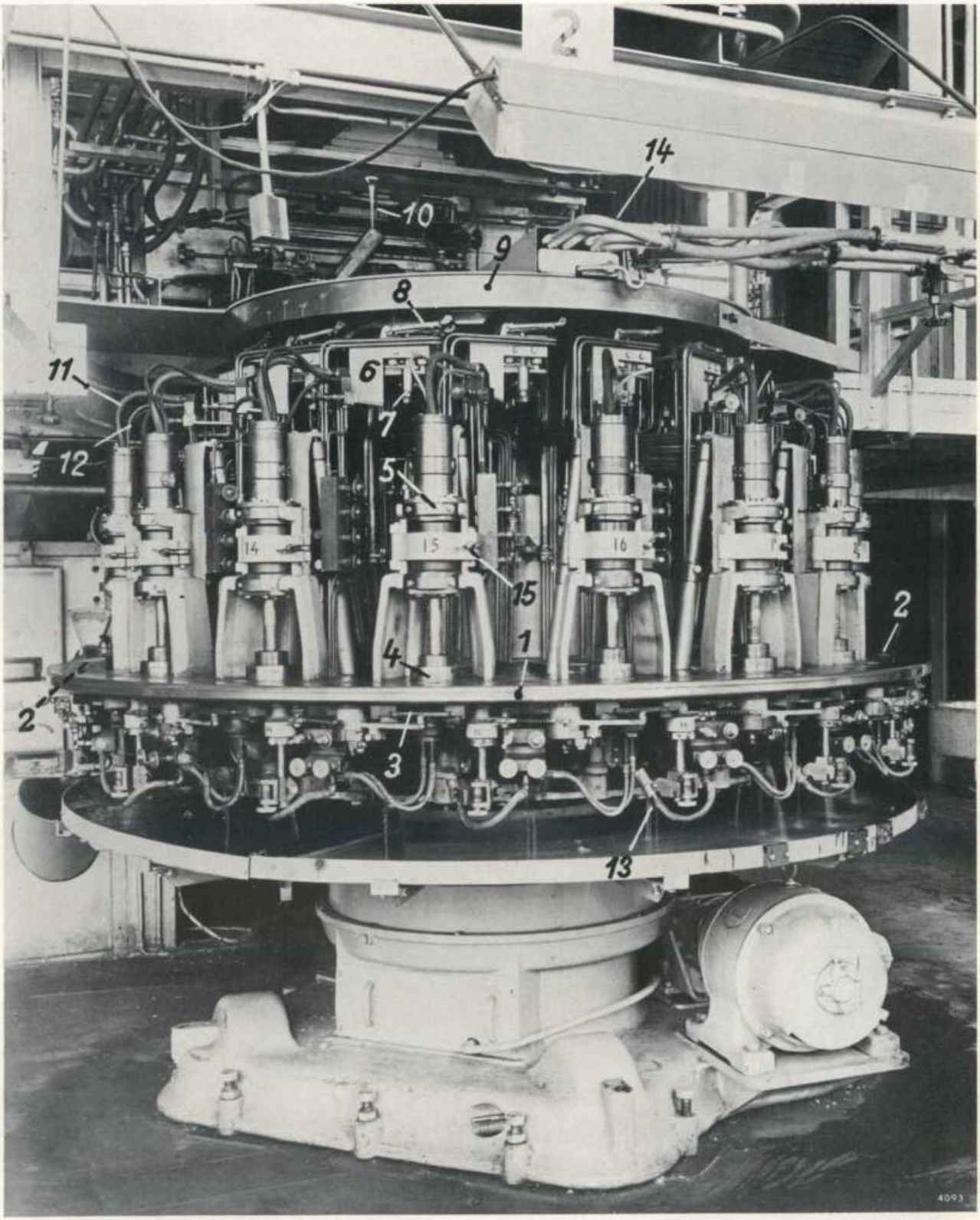


Fig. 9. Machine voor het maken van ballons voor gloeilampen met 16 volledige blaaseenheden. *1* roterende molenplaat, waarop de blaaseenheden gemonteerd zijn. *2* gaten in de molenplaat, waardoor de glasporties in de opvangbakjes vallen. Deze bakjes zijn gemonteerd in de „schuifjes" *3* van het opvangorgaan. *4* blaaskop in blaasstand (de blaaskop steekt dan onder de molenplaat uit). *5* commandocilinder. *6* uiteinde van een kleppenbalk. *7* buitenste klep van de acht die er zich op één kleppenbalk bevinden. *8* hefboom die deze klep bedient. *9* nokkenplaat. *10* de straal vloeibaar glas die uit een gat in de ovenbodem komt (het glas werd tijdens het nemen van de foto niet aan de machine toegevoerd). *11* luchttoevoer voor „puffen" en volblazen. *12* koelwaterleiding voor zuigerstang. *13* brander, die het glas tijdens het uitzakken verwarmt. *14* toevoerleidingen voor gas, lucht (beide voor de branders *13*), olie en samengeperste lucht (voor de blaaskoppen). Na afsluiting van de leidingen, losnemen van de slangen en losdraaien van de vleugelmoer *15* kan men de van te voren gearrêteerde blaaskop met zijn commando-cilinder met één handbeweging uit de machine nemen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

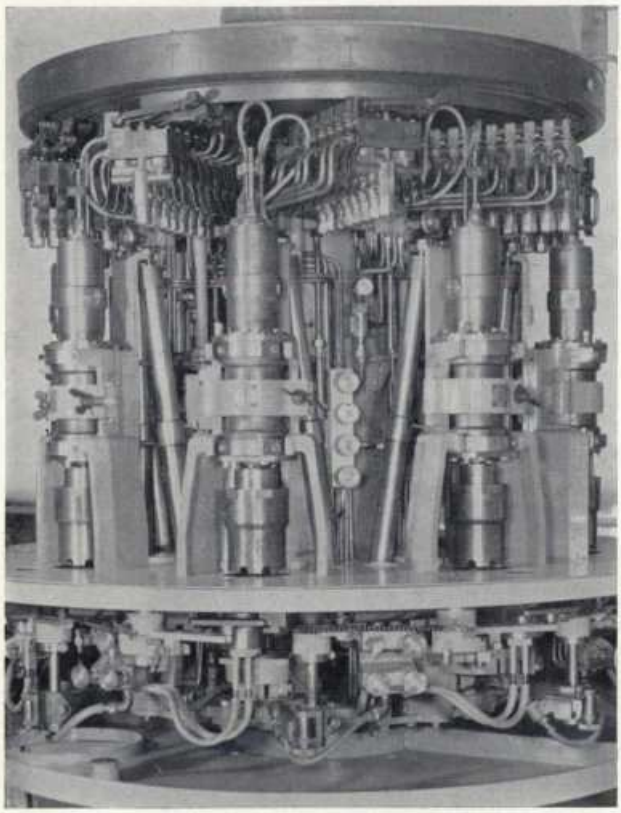


Fig. 10. Achtvoudige machine, waaruit de 16-voudige ontwikkeld is. Door de ruimere bouw van deze machine heeft men hier een beter gezicht op de kleppenbalken en de nokkenplaat.

van het hierboven beschreven type. *Fig. 10* is een opname van een soortgelijke 8-voudige machine, waaraan men een aantal details wat beter kan onderscheiden. *Fig. 11* toont hoe men een dergelijke machine kan opstellen bij een glasoven, en *fig. 12* hoe men uit de oven een constante glasstroom verkrijgt. Daar de machines zonder glasverlies werken, kan de oven vrij klein zijn; een machine die per uur 4000 ballons van 32 g produceert, verbruikt in die tijd slechts 128 kg glas. Een kleine selectie uit de vele tientallen soorten ballons die met deze machines gemaakt worden, vindt men afgebeeld in *fig. 13*.

Waar er sprake is van glasverlies, gaat er in werkelijkheid geen materiaal verloren. Het glas dat eventueel van een geblazen ballon moet worden afgesneden om deze in de vorm te brengen die de gloeilampenfabriek wenst, wordt weer aan de oven toegevoerd. Wat verloren gaat, is de warmte die vereist is om het opnieuw te „smelten". Ruwweg bedraagt deze 75% van de warmte die nodig is om glas van dezelfde temperatuur te maken uit de zuivere grondstoffen. Men moet bij de beoordeling van dit getal echter wel bedenken dat men in de praktijk nooit glas maakt uit de zuivere grondstoffen maar daaraan steeds 30 tot 50% scherven toevoegt om sneller een vloeibare, de warmte beter geleidende, massa te krijgen.

Ten slotte willen we er hier nog op wijzen dat de machine zo geconstrueerd is dat men een groot

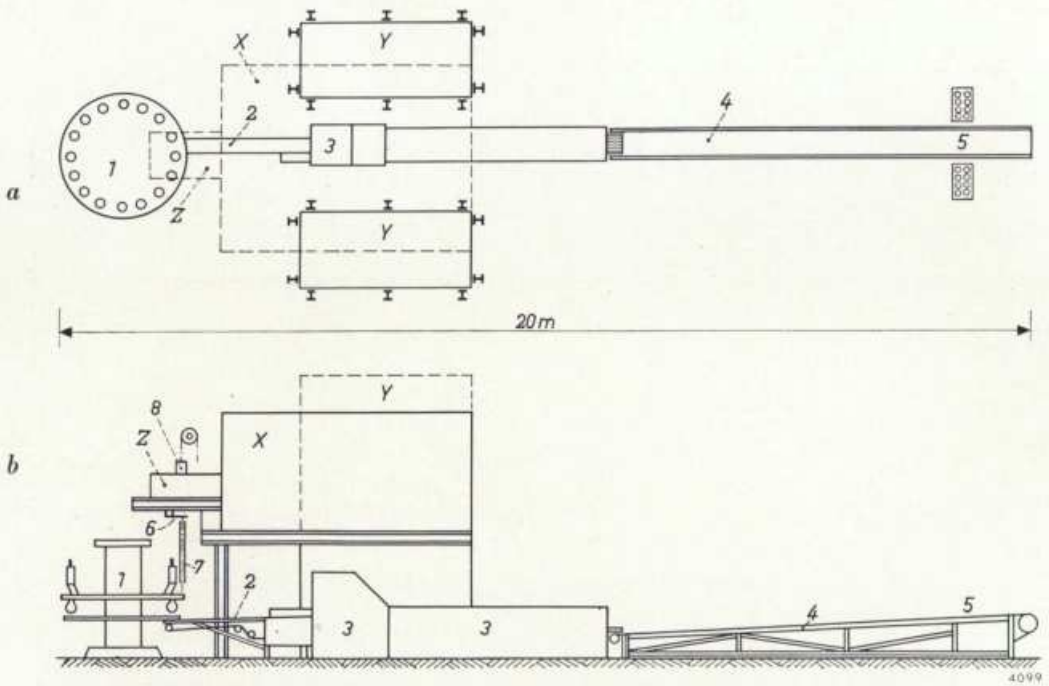


Fig. 11. Schematische voorstelling van een fabricage-eenheid voor de machinale produktie van ballons voor gloeilampen. *a*) Plattegrond, *b*) zijaanzicht. Het geheel bevindt zich binnen een rechthoek van 20 bij 5½ meter. *X* glasoven. *Y* recuperatoren van *X*; hierin verwarmen de wegstromende verbrandingsgassen de lucht die naar de branders toestroomt. *Z* deel van de glasoven van waaruit de ballonblaasmachine *1* gevoed wordt. De gerede ballons worden door de band *2* naar de koeloven *3* (die onder de glasoven staat) en door de transportband *4* naar de sorteerplaats *5* getransporteerd. Hier worden alle ballons gecontroleerd. Verder is: *6* de schaar die de glasporties afknipt, *7* een leibuis die ze precies in het bakje van de machine doet vallen. *8* mechanisme dat zorgt voor de homogeniteit van het uitstromende glas en de constantheid van het debiet (zie fig.12).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

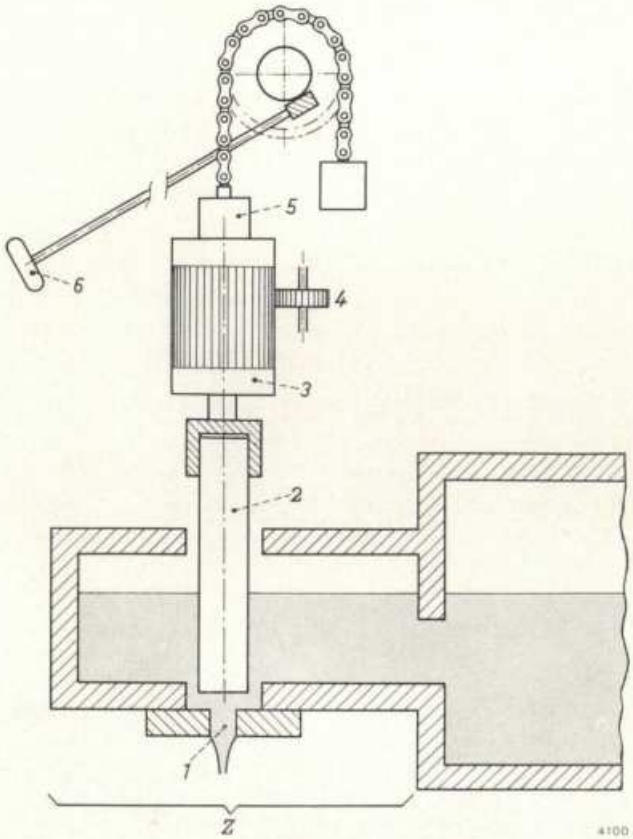


Fig. 12. Men verkrijgt glasporties die even groot en gelijk van samenstelling zijn, door boven het gat *1* in de bodem van het voedingsgedeelte *Z* van de glasoven een roterende pen *2* van keramisch materiaal aan te brengen. Worden de porties te klein, dan trekt men de pen iets omhoog; worden ze te groot, dan laat men hem wat zakken. De pen, die star is verbonden met de bus *3*, wordt aan het draaien gebracht door het rondsel *4*, waarvan de tanden in die van de bus *3* grijpen. Terwille van de hoogtevariatie hebben de tanden op deze bus een grote lengte. Het geheel is door middel van de niet-roterende bus *5* opgehangen aan een ketting die over een kettingwiel loopt waarvan de stand via een wormoverbrenging veranderd kan worden door aan het handwiel *6* te draaien.

aantal elementen kan verwisselen terwijl de machine in werking is. Zo kan men met enkele handgrepen een gehele blaaskop vervangen, en hetzelfde geldt o.a. voor de hefbomen van de kleppenbalk, voor de kleppen zelf, voor het zg. „schuifje" dat het opvangbakje voor het vloeibare glas draagt, en voor de helften van de blaasvorm. Ook het verstellen van de nokken op de nokkenplaat kan zo nodig geschieden terwijl de machine door blijft draaien.

Aan het eind van dit hoofdstuk komen we op de prestaties van de beschreven 16-voudige machine nog eens terug om ze te vergelijken met de thans te bespreken machines.

De „ribbon"-machine

Een tweede machine die het glas ontvangt uit een opening in de ovenbodem en die we hier in het kort willen bespreken, is de zg. „ribbon"-machine, die ontwikkeld is door de Corning Glass Works [1]). Het glas wordt hier niet in porties verdeeld, maar de glasstroom die uit de oven vloeit, gaat tussen twee met water gekoelde rollen door, die er een lint (Eng.: ribbon) van maken. Eén van de twee rollen is zuiver cilindrisch, de andere heeft in zijn oppervlak cirkelvormige uithollingen. Hierdoor vertoont het glaslint op regelmatige afstanden verdikkingen, die het enigszins het aanzien geven van een klappertjeslint voor een kinderpistool. Ieder van deze verdikkingen komt juist terecht boven een gat in een metalen transportband die het lint — nu in horizontale richting — verder doet bewegen, en gaat

[1]) Men vindt deze machine o.a. beschreven in F. V. Tooley, Handbook of Glass Manufacture, Ogden, New York 1953, blz. 356 en 386.

Fig. 13. Een kleine selectie uit de vele tientallen soorten ballons die met de 16-kopsmachine gemaakt worden. Men lette op de voor allen — afgezien van de diameter — gelijke vorm van de rand waarmee ze aan de stempelblaaskop gehangen hebben.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

door dat gat uitzakken. Inmiddels is een blaaskop in de juiste positie boven het gat gebracht (de machine heeft er vele tientallen, die op een band zonder eind gemonteerd zijn en aldus een eindweegs met het lint meebewegen kunnen), en er worden, juist als bij de hiervoor beschreven machine, luchtstoten in de kloos toegelaten die het uitzakken bevorderen. Vervolgens sluit zich een vormtang (ook hiervan bevinden er zich enige tientallen op een band zonder eind, ditmaal onder het glaslint) en vindt het volblazen plaats. Nadat de vorm zich weer geopend heeft, krijgt de ballon gelegenheid om wat af te koelen en wordt hij ten slotte van het lint afgebroken. Ribbonmachines werken dus altijd met een zeker glasverlies. Ze kunnen echter een zeer grote produktiecapaciteit hebben; de grootste machines van dit type produceren per uur b.v. 60 000 ballons met een diameter van 60 mm (d.i. 1000 per minuut of ruim 1,4 miljoen per etmaal) of ca. 100 000 kleinere ballons (1600 per min of 2,3 miljoen per etmaal).

De zuigblaasmachine

De derde soort machines die we in dit hoofdstuk willen bespreken, de zg. zuig-blaasmachines, ontvangen porties vloeibaar glas van het oppervlak van een bad gesmolten glas. Deze machines zijn uitgerust met een schuifarm, met behulp waarvan een zuignap in de ovenruimte wordt gebracht. Zodra een zekere hoeveelheid glas is opgezogen en langs de onderkant van de nap afgesneden — laat men dit na, dan blijft er een draad aan de nap hangen —, wordt de zuignap door de arm buiten de ovenruimte gebracht. Hierna wordt het glas overgegeven aan een van de blaaspijpen, die zich evenals bij de Eindhovense machine op een roterende molen bevinden. Deze blaaspijp is daartoe op dat ogenblik verticaal omhoog gericht. Daar ook deze machines continu draaien, moet de arm gedurende het overgeven met de molen meedraaien, wat uiteraard een technische complicatie oplevert. Na het overgeven draait de arm terug naar de beginstand, de zuignap schuift weer in de oven enz.

Zodra een blaaspijp een portie glas heeft ontvangen, sluiten zich de bekken van een tang. Deze zijn zo gevormd en geplaatst, dat ze, wanneer de blaaspijp de „blaasstand" heeft ingenomen — dat is eveneens verticaal, maar nu naar beneden gericht —, het glas aan een rand vasthouden. Evenals bij de vorige machines volgen nu luchtstoten die het uitzakken bevorderen, sluit zich de onder iedere blaaskop aanwezige vorm en vindt het volblazen plaats. Is de ballon gevormd, dan openen zich achtereenvolgens de vorm en de tang die het glas vasthield. De ballon valt nu op een transportband en wordt toegevoerd aan een afsmeltmachine, die de ballon scheidt van de dikke glazen rand die door de bekken van de tang is gevormd. Ook bij deze machines is er dus een zeker glasverlies.

Ballonblaasmachines van het zuig-blaastype bestaan er in zes- en achtvoudige uitvoering, waarbij men per stand nog één, twee of vier blaaspijpen kan aantreffen [2]); een zesvoudige machine met vier blaaspijpen per stand heeft dus in totaal 24 blaaspijpen en levert per omwenteling 24 ballons. Ook de schuifarm is dan uiteraard één-, twee- of viervoudig uitgevoerd.

De produktiecapaciteit van de zuigblaasmachines ligt ruwweg tussen 3000 en 6000 ballons per uur en is dus van dezelfde orde van grootte als die van de 16-voudige Philips machine.

Vergelijking van de verschillende soorten machines

Tot slot van dit hoofdstuk over machines die vloeibaar glas verwerken, maken we nog enkele opmerkingen over de mogelijkheden en de beperkingen van de diverse machines. We willen daarbij speciaal letten op: 1) de produktiecapaciteit, 2) het glasverlies, 3) de flexibiliteit ten aanzien van het te maken produkt.

Wat betreft de produktiecapaciteit, zagen we dat de machines die porties glas verwerken, ongeveer gelijkwaardig zijn. De minimale omwentelingstijd van deze machines wordt bepaald door de tijd die nodig is voor het maken van één ballon. Men kan de produktie van een machine dus alleen opvoeren door het aantal blaaskoppen te vergroten. Dit kan echter slechts in beperkte mate, omdat de machines anders onhandelbaar groot zouden worden. Ook kan het tempo waarin glasporties via de bodem uit de oven genomen worden — dat evenredig met het aantal blaaskoppen toeneemt —, niet onbeperkt vergroot worden. Daar de temperatuur, en dus de viscositeit van het glas, aan grenzen gebonden zijn, zou men de uitstroomopening wijder moeten maken. De lengte van de afgeknipte delen wordt dan echter spoedig te klein in verhouding tot de dikte van de glasstraal. Een betere oplossing is het werken met b.v. twee uitstroomopeningen en twee scharen, maar dit levert ernstige constructieve moeilijkheden op. Wenst men een zeer grote produktiecapaciteit, dan is de aangewezen machine de ribbon-machine,

---

[2]) De eenarmige machines zijn bekend onder de naam Westlake, de tweearmige onder de naam Ohio en de vierarmige onder de naam Ivanhoe. Men vindt de Westlake-machine beschreven in het in noot [1]) aangehaalde boek, en de Ivanhoe-machine in W. S. Turner, J. Soc. Glass Techn. **13**, 393, 1929.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarvan de capaciteit, zoals we hebben gezien, een factor 10 groter is.

Wat betreft het glasverlies, zagen we dat dit alleen bij de Philips machine nihil is. Bij de andere is het nuttig gebruikte glas gemiddeld ongeveer 50% van de verwerkte hoeveelheid, en als men kleine ballons maakt, b.v. van 15 g, nog veel minder. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat ballons van b.v. 15 gram ook op de Philips machine niet geheel zonder glasverlies gemaakt kunnen worden. Aan machines die porties glas verwerken kan men nl. geen onbeperkt kleine porties toevoeren, omdat die te snel afkoelen.

Wat betreft de flexibiliteit, hebben we er reeds op gewezen dat men met de Philips machine niet alleen tegelijkertijd ballons van verschillend model kan maken (mits het portiegewicht gelijk is), maar dat men ook zeer snel van blaasvorm kan veranderen.

De grote flexibiliteit van de beschreven Philips machine en zijn kleine glasverbruik maken het mogelijk met een aantal van deze machines een fabriek van ballons in te richten die, zonder oneconomisch te werken, van iedere soort ballons vrijwel precies die aantallen maakt die een daarmee gecombineerde gloeilampen- of radiobuizenfabriek nodig heeft. Een dergelijke glasfabriek kan zijn produktieprogramma vrijwel ogenblikkelijk wijzigen en heeft slechts een zeer kleine magazijnruimte nodig. Dank zij de bescheiden afmetingen van de produktieeenheden (oven-machine-koeloven-transportband; vgl. fig. 11) kan ook de fabriekshal zelf vrij klein zijn. Het minst flexibel daarentegen is uiteraard de fabricage met een ribbon-machine. Deze machine is het meest geschikt voor de produktie van zeer grote series ballons van een en hetzelfde type. De produkten ervan kunnen in de regel niet direkt ter plaatse verwerkt worden, zodat het noodzakelijk is over een aanzienlijke magazijnruimte te beschikken, zowel bij de glasfabriek als bij de verwerkende fabrieken.

Machines voor het maken van ballons uit buisglas

Zoals reeds werd opgemerkt, kan men met de machines die vloeibaar glas verwerken, geen onbeperkt kleine ballons maken tenzij men een groot glasverlies op de koop toe neemt; kleine ballons vervaardigt men machinaal meestal uit buisglas. In principe gaat dit aldus, dat een buis, van b.v. 1 m lengte, waarvan de diameter ongeveer gelijk is aan die van de hals van de te maken ballons, aan het einde wordt dichtgesmolten en vervolgens, terwijl hij roteert, over een zekere lengte tot een zodanige temperatuur wordt verhit dat vervormen mogelijk is. Is deze temperatuur bereikt, dan sluit zich een blaasvorm om het verhitte gedeelte en wordt er lucht in de buis geblazen. Zodra de ballon die zich daarbij gevormd heeft, voldoende is afgekoeld, opent zich de blaasvorm en wordt de ballon van de buis afgesneden. Behalve van lange stukken buis, gaat men ook dikwijls uit van kleine stukken die van te voren zijn afgesneden op de lengte die men voor één ballon nodig heeft.

Het is duidelijk dat men de hier beschreven allereenvoudigste vorm van de blaastechniek alléén met succes kan toepassen wanneer de grootste diameter van de ballon niet veel groter is dan die van de buis. In het andere geval zou men ballons krijgen die ter plaatse van de grootste diameter een veel te dunne wand hebben. Ook kan men dit euvel niet verhelpen door uit te gaan van een buis met dikkere wand of grotere diameter. De toelaatbare diameter en wanddikte van de hals zijn nl. aan vrij nauwe grenzen gebonden door de insmelttechniek die men toepast bij de machinale gloeilampenfabricage. We komen hierop aan het eind van dit artikel terug.

Alvorens de modernste buisglas verwerkende machines te bespreken, willen we de hoofdlijnen van de constructie en de werking van een dergelijke machine uiteenzetten aan de hand van een 18-voudige machine, die korte stukjes buis verwerkt en waarop men slechts ballons kan maken met niet veel uiteenlopende hals- en ballondiameter.

Een 18-voudige machine die korte stukjes buisglas verwerkt

Zoals bij alle machines die buisglas verwerken het geval is, bevindt zich bij de Eindhovense 18-voudige machine [3]) op enige decimeters boven een kast die het drijfwerk bevat, een horizontaal wiel dat om een verticale as draait en dat aan zijn rand een aantal — hier dus 18 — klemkoppen draagt. In ieder van deze klemkoppen bevindt zich verticaal één der te verwerken stukjes buisglas. Het wiel roteert niet continu maar in 18 gelijke stappen, zodat na iedere stap een bepaalde klemkop de positie van zijn voorganger heeft ingenomen. Behalve in de posities waar dat ongewenst is, roteren de klemkoppen. In de ruimte tussen de bovenkant van de genoemde kast en het roterende wiel bevinden zich de branders en andere organen die gezamenlijk de ballon produceren. Een overzicht van de machine vindt men in *fig. 14*. Hier is *A* de zojuist genoemde kast en *B* een der klemkoppen.

De bewerkingen die een stukje buisglas in de machine ondergaat, zijn de volgende. Eerst wordt

[3]) Deze machine werd ontwikkeld uit een soortgelijke 12-voudige machine van Osram GmbH.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het door de getande rol *C* uit het magazijn *D* „genomen" en in het gootje *E* gebracht. Het glijdt hierdoor naar de glasinzetter *F* (zie ook fig. 18) en wordt door deze van onder af in de zich in positie *1* boven zijn ondereinde verhit. Vervolgens komt de zg. aftrektang omhoog (zie *fig. 15*), die de buis onder de warme plaats beetpakt en daarna weer snel naar beneden gaat. Het gedeelte onder de verwarmde

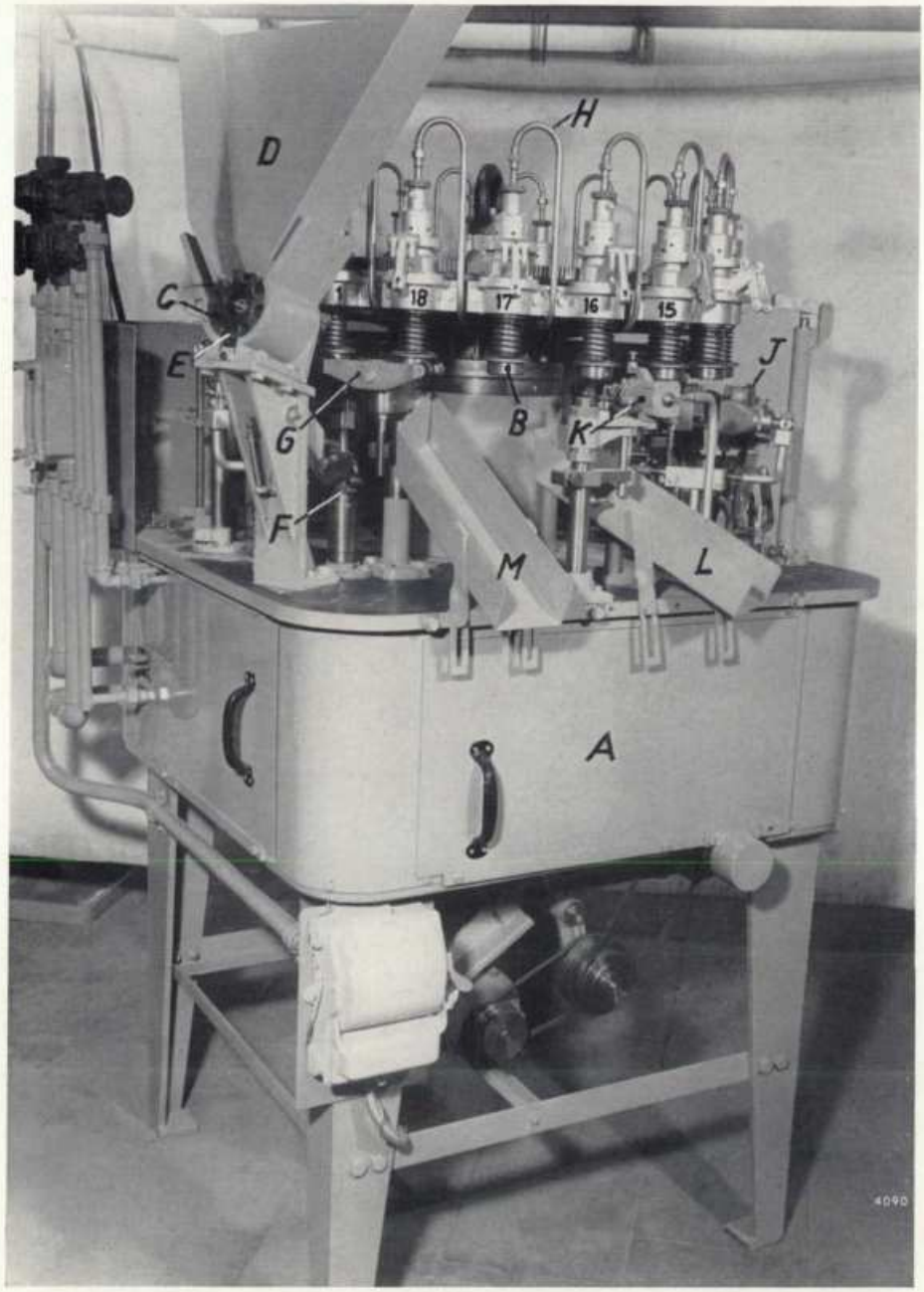


Fig. 14. Achttienvoudige machine voor het maken van ballons uit korte stukken buisglas. *A* kast waarin zich het drijfwerk bevindt. *B* één van de 18 klemkoppen, die op een horizontaal, intermitterend roterend, wiel zijn aangebracht. *C* getande rol die, synchroon met de beweging van het genoemde wiel, een buisje uit het magazijn *D* in het gootje *E* brengt. *F* glasinzetter. *G* klemkopopener. De produktiecyclus begint voor iedere klemkop als hij zich in de stand *1* bevindt en eindigt bij de stand *18*. *H* één van de op ieder der klemkoppen aangesloten luchtleidingen voor het volblazen. *J* blaasvorm. *K* afsnijapparaat. *L* goot waarin de afgesneden ballons vallen. *M* goot voor de resterende stukjes buis.

bevindende klemkop geschoven (op de foto geheel links). Deze wordt daartoe korte tijd geopend doordat de klemkopopener *G* omhoog komt. In een aantal van de volgende standen wordt het buisje even plaats wordt hierdoor van de buis afgetrokken en tevens sluit deze zich. Na het sluiten wordt het onderste deel van de buis opnieuw verhit en door een van onderen omhoog komende stuiker ietwat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 15. Gedeelte van buisglasmachine waar het van onderen sluiten van de buis plaatsvindt. *1* verticaal beweegbare stang waarop zich de aftrektang bevindt. *2* de bekken van deze tang. *3* stilstaande pennen die de glasdraad, welke bij het trekken ontstaan is, afbreken als de buis naar de volgende positie draait. *4* goot voor afvoer van het afgetrokken stukje buis.

ingedrukt; dit bevordert het verkrijgen van een goede glasverdeling. Na opnieuw in enige standen verhit te zijn, bereikt de buis de (geopende) blaasvorm. Nadat deze zich gesloten heeft, vindt het volblazen plaats (*fig. 16*). In de drie volgende standen krijgt de ballon tijd om af te koelen, en ten slotte wordt hij van het bovenste stukje buis afgesneden (zie *K* in fig. 14). Via de goot *L* verlaat hij de machine. Heeft de klemkop met het resterende stukje buis de stand *18* bereikt, dan wordt hij door de klemkopopener *G* geopend en het buisje valt in de goot *M*. De klemkop is nu gereed om in de volgende stand (*1*) een nieuw stukje buisglas te ontvangen.

Het ballonnetje, dat nu de machine verlaten heeft, is nog niet gereed. De scherpte van de rand moet worden weggenomen, het zg. afbotten, en soms moet het uiteinde van de hals verwijd worden (conisch, trompetvormig of hoe dan ook), het zg. roefelen. Ook deze bewerkingen, evenals het transport van de ballons van de ballonblaasmachine naar de afboten de roefelmachine, kunnen geheel mechanisch geschieden.

De wijze waarop de voor het volblazen vereiste luchtstoot in de ballon gegeven wordt, ziet men weergegeven in *fig. 17a*. Hierin is *1* de buis, die met zijn boveneinde is vastgedrukt in het conische uiteinde *2* van een buisje *3*, dat zich boven de klem *4* in de klemkop bevindt (en dus met deze meeroteert). In het eveneens conische boveneinde *5* van dit buisje bevindt zich het uiteinde van de leiding *6* waardoor de lucht kan toestromen (*H* in fig. 14), en wel zodanig dat er een nauwe spleet openblijft. Door deze spleet lekt bij het blazen dus voortdurend lucht weg.

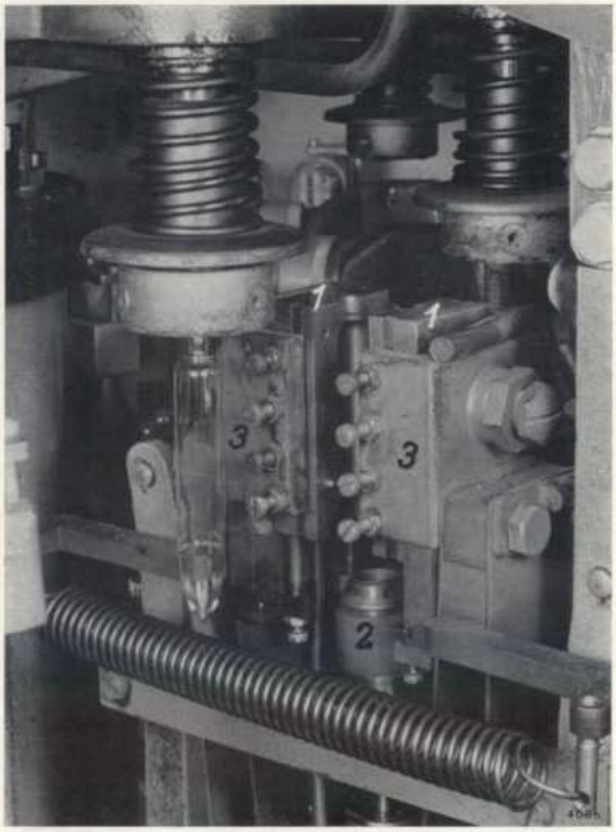


Fig. 16. Gedeelte van de 18-voudige machine waar zich de blaasvorm bevindt. De hier afgebeelde blaasvorm is driedelig en bestaat uit twee symmetrische delen *1* die zich bij het sluiten in horizontale richting naar elkaar bewegen, en een bodem *2*, die bij het sluiten omhoog komt. Door de bouten los te draaien, kan men desgewenst de vormhelften uit de houders *3* nemen en vervangen door andere.

Door de wijdte van de spleet te variëren, kan men op eenvoudige wijze de maximumdruk die tijdens het volblazen optreedt, regelen.

Men zal opmerken dat het aantal standen dat de machine inneemt alvorens één omwenteling volbracht is — en dus ook het aantal klemkoppen —, ten minste gelijk moet zijn aan het aantal uit te voeren bewerkingen. Daar de verblijftijd in iedere stand uiteraard dezelfde is, kan men langdurige be-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

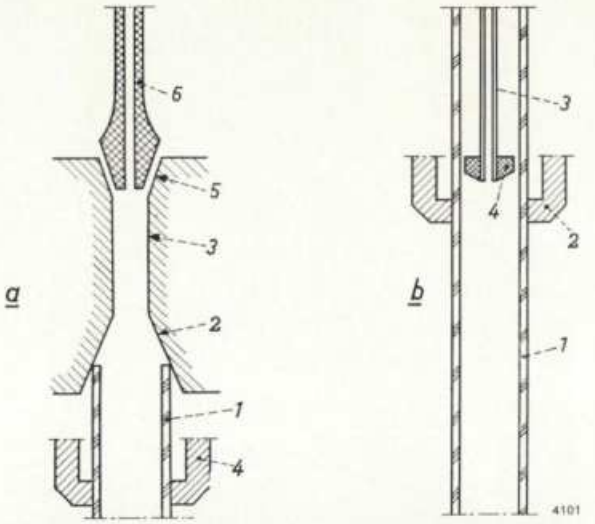


Fig. 17. Luchttoevoer voor het volblazen van de ballon in een buisglasmachine. *a*) Uitvoering bij machines die korte stukjes verwerken. *1* bovenëinde van de glasbuis, die is vastgedrukt in het conische ondereind *2* van het buisje *3*, dat, samen met de klem *4*, deel uitmaakt van een klemkop. *5* conisch bovenëinde van dit buisje. *6* luchtleiding die „lekkend" op *3* is aangesloten. *b*) Uitvoering voor machines die lange stukken buisglas verwerken. *1* glazen buis. *2* klem van de klemkop. *3* buis voor luchttoevoer met kraag *4*. Tussen deze kraag en de binnenwand van de buis is er weer een spleet waardoor de lucht kan weglekken.

werkingen (met name de meeste verhittingen) beter verdelen over een aantal standen. Het totale aantal standen is in de praktijk dientengevolge 2 à 3 maal zo groot als het aantal bewerkingen.

Enkele opmerkingen omtrent machines die langere stukken buis verwerken

Door het uiteinde van de leiding *6* (fig. 17*a*) een geschikte vorm te geven, kan men het zojuist beschreven systeem van luchttoevoer ook zeer goed toepassen in machines die langere stukken buis verwerken. Het uiteinde van de luchttoevoerleiding (zie fig. 17*b*) bevindt zich dan *in* de glazen buis (die hier een eind boven de klemkop uitsteekt). Zijn de stukken niet al te lang, zodat ze nog van onderaf in de klemkop geschoven kunnen worden, dan kan de luchtleiding star zijn; op machines die buizen ter lengte van een meter verwerken, moet de leiding bovenaan een scharnierpunt hebben. De mond van de leiding bevindt zich steeds zo laag mogelijk. Voor de machines van het laatstgenoemde soort heeft deze constructie grote voordelen boven die waarbij de luchtleiding (een slang in dit geval!) met een doorboorde kurk boven op de buizen moet worden aangesloten (het zg. Cleveland-systeem).

Daar in de machines voor verwerking van lange buizen iedere buis na één volbrachte cyclus in zijn klemkop wat opgeschoven moet worden, zijn deze machines uitgerust met een zg. glashaler. Dit is een klein plateau op een verticaal beweegbare stang, dat de buis bij het opengaan van de klemkop opvangt en een eind meeneemt naar beneden. Daarna sluit de klemkop zich weer en de machine draait naar de volgende positie. Soms zijn er twee glashalers. Tijdens het glashalen roteren de buizen niet. *Fig. 18a* toont de twee glashalers van een in ontwikkeling zijnde 32-voudige machine. Bij machines die relatief korte buizen verwerken, en waar het inzetten precies zo gebeurt als in de machines die korte stukjes verwerken, is het inzetmechanisme uitgerust met een tastorgaan dat constateert of er al dan niet een buis moet worden ingezet (fig. 18*b*).

Machines zonder blaasvorm

Voor het maken van ballons die de zeer eenvoudige vorm hebben van een aan één eind gesloten cilinder (zoals bij vele radiobuizen en bij transistors), kan het gebruik van een blaasvorm eventueel achterwege blijven. Men gaat in dit geval uit van buizen die de voor de ballon vereiste diameter en wanddikte hebben. Nadat ze, op de gewone wijze, met de aftrektang gesloten zijn, wordt aan het gesloten einde de gewenste vorm gegeven met een zg. bodemvorm. Het principe van deze methode vindt men toegelicht in *fig. 19*. In automatische machines die met een bodemvorm zijn uitgerust, wordt de (weinige) vereiste lucht tot de buis toegelaten op dezelfde wijze als geschetst is in fig. 17. De aanwezigheid van de spleet waardoor de lucht kan weglekken, is hier extra belangrijk. Een te sterke luchtstoot of thermische expansie van een opgesloten hoeveelheid lucht is, als men zonder blaasvorm werkt, funest.

Machines die een ballon kunnen maken met sterk verschillende hals- en ballondiameter

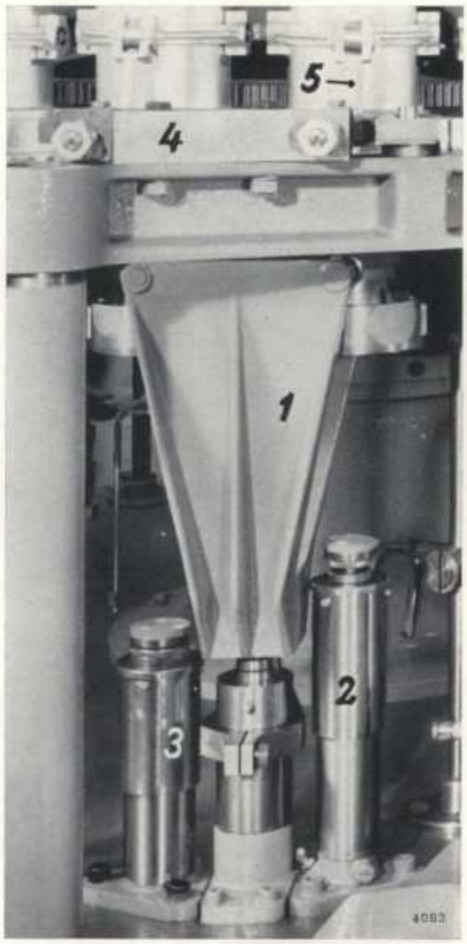
Een ballon met sterk verschillende hals- en ballondiameter maakt men uit een buis waarvan de diameter tussen die van hals en ballon in ligt. De gewenste dikte van de wand en diameter van de hals verkrijgt men hier door toepassing van het zg. *rek- en inrolprocédé* [4]). Hierbij wordt de buis op de plaats waar de hals moet komen, verhit en, zodra het glas voldoende week is, een eindje uitgerekt. Vervolgens wordt het verhitte gedeelte, terwijl de buis roteert, door drie rollen enigszins ingedrukt, waardoor de diameter verkleind wordt tot de gewenste waarde. De wanddikte van het ingerolde gedeelte, welke zonder rekken groter

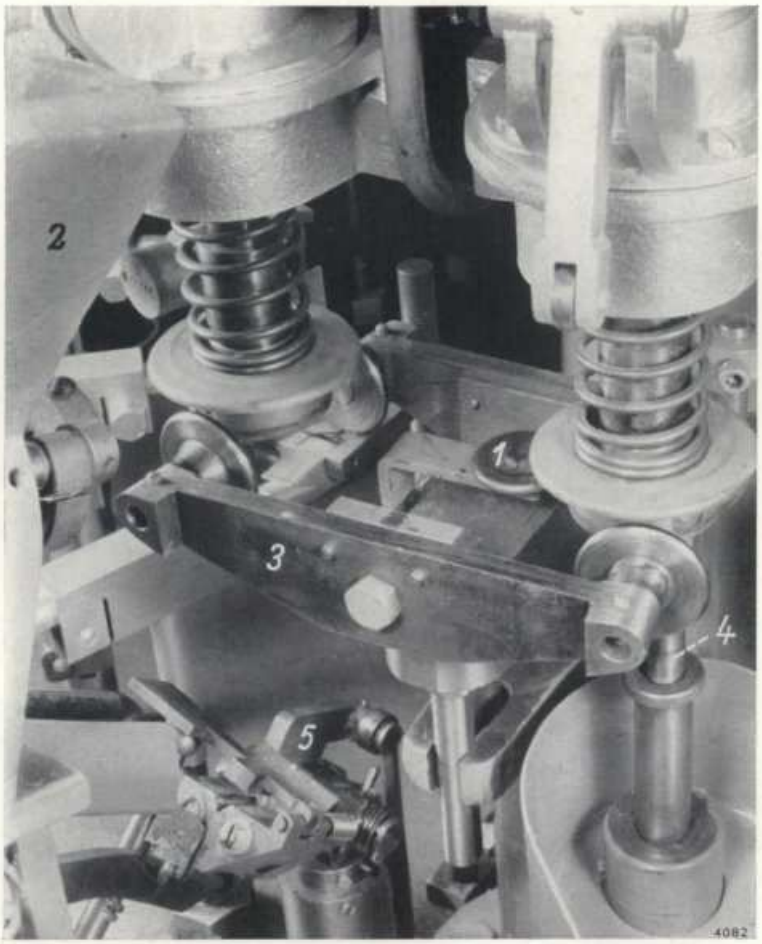
[4]) Dit principe wordt reeds langer toegepast in machines voor het maken van ampullen en is ook reeds eenmaal toegepast voor het maken van ballons (E. Mickley en M. Thomas, Glastechn. Ber. **26**, 197, 1953).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

a





b

Fig. 18. *a*) Detail van 32-voudige machine voor de verwerking van lange stukken buisglas (nog in ontwikkeling). In het afgebeelde gedeelte worden de buizen op de goede hoogte gesteld. Dit geschiedt hier in twee stappen. *1* klemkopopener. *2* eerste glashaler, *3* tweede glashaler. Tijdens het glashalen roteren de klemkoppen niet; de nok *4* dringt daartoe in de twee desbetreffende standen de hefboom *5* naar binnen.
b) Detail van een machine voor verwerking van stukken buis waaruit meer dan één ballon gemaakt kan worden maar die kort genoeg zijn om van onderaf in de klemkop gezet te worden. Deze machines zijn uitgerust met een tastorgaan *1* dat constateert of er uit het magazijn *2* al dan niet een nieuwe buis moet worden toegevoerd. In deze figuur is verder: *3* de klemkopopener, *4* de stang van de glashaler en *5* het inzetapparaat.

zou zijn dan die van de oorspronkelijke buis, kan men regelen door variatie van de mate waarin er gerekt wordt. De wijze waarop dit rekken en inrollen in de genoemde, nog in ontwikkeling zijnde, Philips machine geschiedt, vindt men schematisch voorgesteld in *fig. 20*. De meest karakteristieke punten daarbij zijn 1) het feit dat de buis onder de verhitte plaats alleen een ogenblik ingeklemd wordt voor het

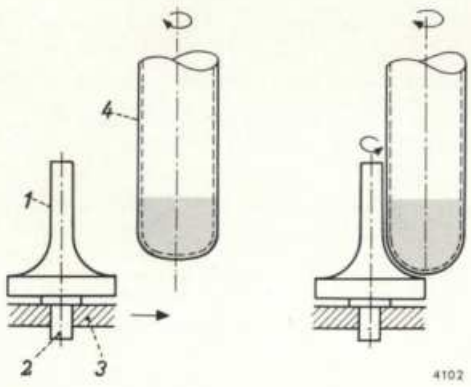


Fig. 19. Het maken van een cilindrische ballon met een bodemvorm. De rol *1*, die zich op een asje *2* bevindt dat vrij kan draaien in het leger *3*, wordt daarbij in horizontale richting langzaam naar de (reeds met de aftrektang gesloten) roterende glazen buis *4* bewogen, tot zijn boveneinde stuit tegen het niet verweekte deel van de buis (het weke deel is geschaduwd in de figuur). In deze positie wordt een (zeer zachte) luchtstoot in de buis gegeven waardoor de bodem ervan zich tegen de nu meedraaiende rol aanvleit. Ten slotte keert de rol terug naar zijn oorspronkelijke positie (zie linker figuur).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

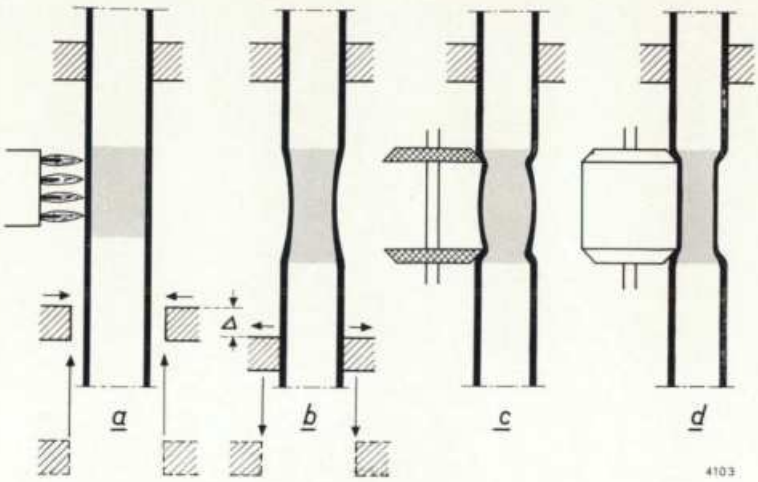


Fig. 20. Het *rekken* en *inrollen* geschiedt in de 32-voudige machine in de volgende stadia. Eerst verhit men het te rekken gedeelte (geschaduwd). Is het voldoende heet, dan komt een klemkop omhoog, grijpt de buis van onderen en neemt hem mee over de te rekken afstand Δ. Daarna gaat de klemkop weer open en zakt verder naar zijn oorspronkelijke stand, opdat de buis naar de volgende positie verplaatst kan worden (*a* en *b*). Het warme gedeelte wordt nu eerst ingerold door twee wieltjes, die de inrolplaats nauwkeurig fixeren (*c*), en vervolgens, eventueel na een tussenverwarming, door een rol op de vereiste diameter gebracht (*d*).

rekken, maar verder vrij hangt (afgezien van een opsluiting tussen drie centreerrollen tijdens het inrollen), en 2) dat het inrollen in twee stadia geschiedt. Dit laatste bevordert de precisie. Dank zij het feit dat de buizen van onderen niet ingeklemd worden, behoeft de constructie van de machine in principe niet af te wijken van die van de eerder beschreven 18-voudige. Men is hierdoor veel vrijer in het plaatsen van de branders en kan b.v. het sluitmechanisme van de blaasvorm eenvoudiger ontwerpen dan mogelijk is bij machines die zijn uitgerust met twee roterende wielen met klemkoppen (een voor het boven- en een voor het ondereinde van de buizen). Ten einde het gehele produktieproces, inclusief dus het rekken en inrollen, in één enkele machine te kunnen doen plaatsvinden, is, zoals reeds werd vermeld, het aantal standen vergroot tot 32.

Een foto van het desbetreffende gedeelte van de nieuwe machine vindt men in *fig. 21*. Voor een verklaring van de details moge worden verwezen naar het onderschrift. Omtrent de centreerrollen (*8*) willen we nog opmerken dat deze niet worden aangedreven, maar in beweging gebracht worden door de buis zelf. Deze mag daartoe op de inrolplaats niet te heet zijn, anders zou hij getordeerd worden. De rollen zelf zijn zeer licht en kunnen bijzonder gemakkelijk draaien.

In constructief opzicht wijkt de in ontwikkeling zijnde 32-voudige machine enigszins van de andere af. De kast bestaat hier uit een benedengedeelte dat met panelen gesloten is, en een bovengedeelte dat opzij verticale ventilatiespleten bevat. De op iedere buisglasmachine aanwezige ringleidingen (gas, lucht, zuurstof) en enige blokken met kranen (voor iedere brander drie) bevinden zich hier ter hoogte van het bovengedeelte. De motoren en het drijfwerk bevinden zich geheel in het benedengedeelte van de kast. In het bovengedeelte treft men, behalve enkele verticale assen en stangen, alleen slangen aan, die van de kranen naar de branders voeren. Door deze

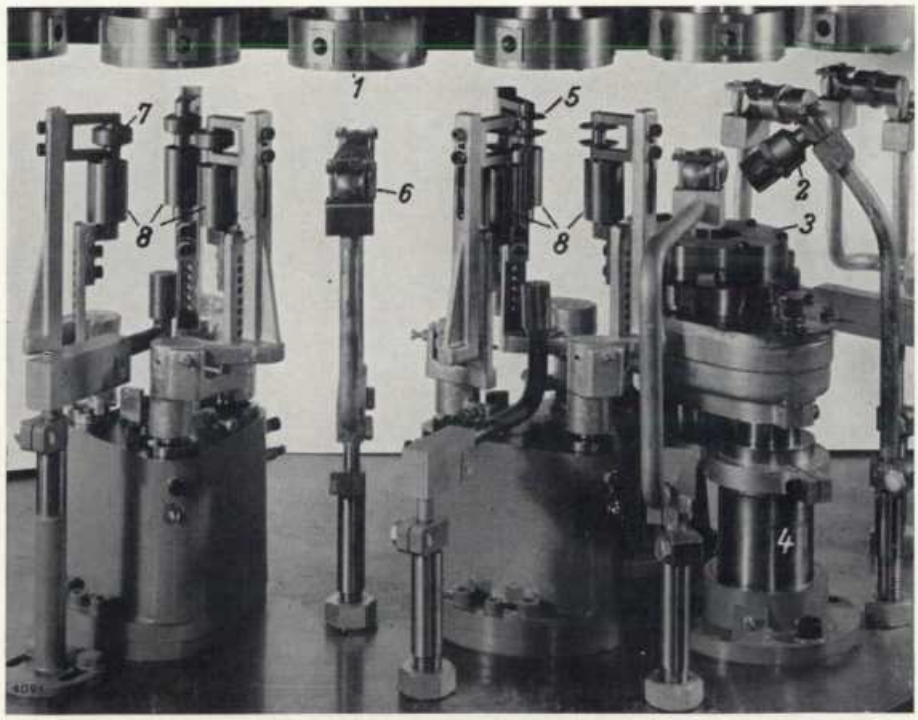


Fig. 21. Het gedeelte van de 32-voudige buisglasmachine waar het rekken en inrollen plaatsvindt. *1* een van de zes zichtbare klemkoppen. *2* een der branders. *3* klemkop op verticaal bewegende stang *4* voor het rekken. *5* inrolwieltjes (voor het eerste stadium; vgl. fig. 20). *6* branders voor eventuele tussenverhitting. *7* inrolschijf (voor tweede stadium). Tijdens het inrollen wordt het onderste gedeelte van de buis gecentreerd door de rollen *8*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

constructie is het ten eerste mogelijk om de nokken van het drijfwerk te verstellen of te vervangen zonder eerst de blokken met kranen te hoeven verwijderen (de nokken zijn zo geconstrueerd dat men ze kan vervangen zonder de as uit zijn legers te nemen), en ten tweede kan men, in het bovengedeelte, voor de verbindingen tussen de kranen en de branders slangen nemen in plaats van metalen buizen. Hierdoor kan men zeer snel en eenvoudig b.v. een gas-luchtbrander „veranderen" in een gas-zuurstofbrander. Dank zij de ventilatie kunnen er bij eventuele lekjes geen gevaarlijke explosies optreden.

In *fig. 22* vindt men een aantal machinaal uit buisglas vervaardigde ballons afgebeeld.

De produktiecapaciteit van de machines die buisglas verwerken, is wat kleiner dan die van de in het vorige hoofdstuk besproken machines voor de verwerking van vloeibaar glas. Afhankelijk van het type ballon dat geproduceerd wordt, varieert de capaciteit van de eerstbesproken 18-voudige machine tussen 1000 en 1600 ballons per uur. Ongeveer dezelfde waarden gelden voor de later ontwikkelde varianten van deze machine. De in ontwikkeling zijnde 32-voudige machine heeft reeds gewerkt met een produktietempo van 1600 ballons per uur. Men mag verwachten dat het tempo van deze machine in de toekomst nog zal kunnen worden opgevoerd.

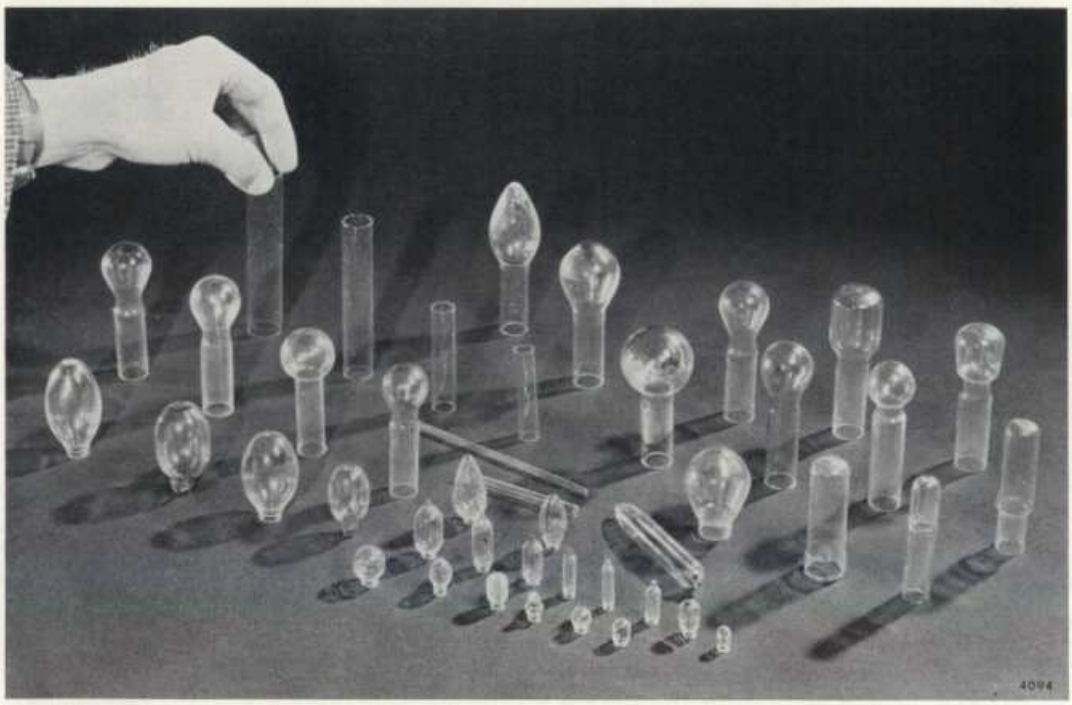


Fig. 22. Een aantal machinaal uit buisglas vervaardigde ballons.

De keus van de produktiewijze

Zoals in het voorgaande reeds terloops ter sprake kwam, doet zich bij de fabricage van ballons steeds de vraag voor, welke wijze van produceren de voorkeur verdient. We zagen reeds in welke gevallen produktie met de hand tot de laagste produktiekosten leidt, en ook dat men machinaal, in het algemeen gesproken, grote ballons goedkoper uit vloeibaar glas maakt en kleine goedkoper uit buisglas. We zagen daarbij dat een zeer belangrijke factor het glasverlies is. Zo worden b.v. cilindrische ballons voor radiobuizen meestal het goedkoopst gemaakt door uit te gaan van buisglas; men heeft dan een zeer gering glasverlies.

We willen thans de zojuist gememoreerde globale indicaties nog wat preciseren en uitbreiden. Speciaal indien zich de vraag voordoet welke de beste produktiewijze is van een ballon die nòch groot nòch zeer klein is (b.v. een autolamp), is zulk een precisering nodig.

Als eerste verder in aanmerking te nemen factor noemen we de grootte van de te fabriceren partij. Is deze klein, dan zal in de regel produktie uit buisglas voordeliger zijn, indien men ten minste glas van de vereiste soort en afmeting in voorraad heeft. Men behoeft dan niet speciaal daarvoor een glasoven in werking te doen komen. Kan men de produktie combineren met die van andere ballons die even zwaar zijn en van dezelfde glassoort gemaakt worden, dan is met de Eindhovense 16-kopsmachine ook een economische produktie uit vloeibaar glas zeer

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

goed mogelijk: deze machine kan immers tegelijkertijd verschillende modellen maken.

Behalve door het gewicht van de ballon, wordt het glasverlies ook bepaald door de vorm van de hals. Dit hangt samen met de diverse wijzen waarop men later in de gloeilampenfabriek het zg. stel, dat de gloeidraad draagt, in de ballon wil smelten.

Voor de eerste wijze van insmelten, het zg. „drop-seal"-procédé, dat men schematisch vindt weergegeven in *fig. 23a*, moet de ballon die de glasfabriek aflevert, een aanzienlijk langere hals hebben dan de daaruit te maken gloeilamp. Ook is deze hals inwendig zo wijd dat hij vrij ruim om het stel past. Nadat het stel op de goede hoogte in de ballon is gebracht, wordt deze ter hoogte van de onderkant van het stel verhit. Het geheel roteert hierbij. Zodra het glas week wordt, snoert de hals wat in en raakt hij ten slotte de roefel van het stel. Bij voortgezette verhitting smelten beide aaneen. Daarna wordt met een iets lager geplaatste vlam het onderste deel van de hals afgesmolten van de rest. Het kan daarbij hetzij met een tang naar beneden getrokken worden, hetzij zakken door zijn eigen gewicht.

Bij het „rim-seal"-procédé gaat men uit van een ballon waarvan de hals even lang is als die van de te maken lamp en een zodanige inwendige diameter heeft dat de roefel er vrij precies in past. De randen van de ballon en van het brugje worden hier op gelijke hoogte gebracht en vervolgens aan elkaar gesmolten (fig. 23*b*).

Een gunstige eigenschap van de drop-sealmethode is dat de halsdiameter van de ballon binnen vrij ruime grenzen mag schommelen. Het feit dat de ballonwand vlak boven het aansmeltpunt vrij dun wordt — door het uitzakken — is soms een bezwaar; meestal echter niet. Met de rim-sealmethode krijgt men sterkere aansmeltingen, maar men moet vrij hoge eisen stellen aan de rondheid van de ballonhalzen, aan de spreiding in hun diameter en aan de constantheid van de wanddikte op de aansmeltplaats. Hetzelfde geldt voor de reinheid en de gaafheid van de randen van ballon en roefel. Is het voor de rim-sealmethode een vereiste dat de speling tussen hals en roefel gering is, voor de drop-sealmethode zou dit juist een bezwaar zijn: men zou dan op de aansmeltplaats een dikke glasrand krijgen, waardoor de kans op springen groter wordt.

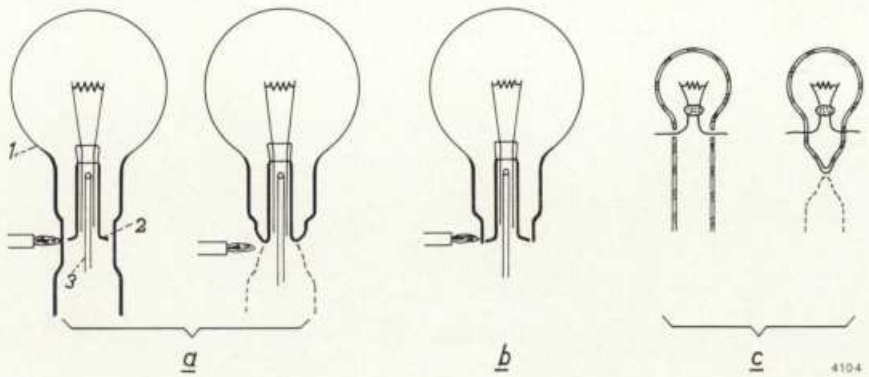


Fig. 23. De verschillende wijzen waarop in de gloeilampenfabriek het zg. stel, dat de gloeidraad draagt, met de ballon tot één geheel verenigd wordt.
a) De zg. drop-sealmethode. Hier is de ballon (zie linkerfiguur) die de glasfabriek moet leveren, langer dan de daaruit te maken gloeilamp. Nadat de ballon (*1*) en het conische ondereinde (*2*) van het stel (de „roefel") aan elkaar gesmolten zijn, wordt het onderste stuk van de ballon (streeplijn rechterfiguur) afgesmolten. De spleet tussen roefel en hals is hier vrij wijd. De buis *3* is de pompstengel.
b) De zg. rim-sealmethode. Hier is de ballon afgesneden op de definitieve lengte en moet men werken met een nauwe spleet.
c) De zg. butt-sealmethode. Ook hier is de ballon kort afgesneden. Men maakt een stompe las met een buis die dezelfde diameter heeft als de ballonhals, en smelt deze buis na het pompen kort onder de las af. De stroomtoevoerdraden bevinden zich hier in de las.

Bij de derde methode, het zg. „butt-seal"-procédé (fig. 23*c*), werkt men eveneens met een kort afgesneden ballon. Men maakt hier een stompe las met een buis die dezelfde diameter heeft als de ballonhals en smelt deze na het pompen kort onder de las af. De stroomtoevoerdraden worden hier in de las gesmolten.

Wat nu de economie der verschillende ballonblaasmachines betreft, blijkt dat bij afnemend ballongewicht de produktie uit vloeibaar glas het langst kan concurreren met de buisglasmethode als men insmelt met de drop-sealmethode. Ook afgezien van het verschil in glasverlies, heeft de produktie uit vloeibaar glas nadelen als men een der andere insmeltmethodes toepast, en wel omdat er dan een nabewerking nodig is — het afsnijden —, die de produktiekosten aanmerkelijk verhoogt. Deze na-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bewerking vervalt uiteraard bij ballons die op een buisglasmachine gemaakt zijn. Bovendien voldoen de halzen van uit buisglas geproduceerde ballons iets beter aan de hierboven voor de rim-sealmethode vermelde eisen van constante wanddikte enz. In het bijzonder is dit het geval indien men rekt en inrolt.

Naast de hierboven genoemde factoren, die primair van economische aard zijn, heeft de fabrikant ook rekening te houden met andere. Zo wordt de keus tussen produktie uit vloeibaar glas of uit buisglas soms ook beïnvloed door de vereiste glassoort. In dit geval zijn de buisglasmachines in het voordeel; het machinaal produceren van hardglazen ballons b.v. is, als men van vloeibaar glas uitgaat, nogal moeilijk. De kwaliteit en het uiterlijk ten slotte zijn natuurlijk eveneens factoren die gewicht in de schaal werpen. Wat het uiterlijk betreft, winnen de uit vloeibaar glas gemaakte ballons — die zeer fraai zijn! — het van de andere. Dit geldt óók voor de kleinere modellen, die slechts gemaakt kunnen worden met enig glasverlies. Wat de sterkte en de wanddikteverdeling betreft, merken we op dat de met de Eindhovense 16-kops-machine uit vloeibaar glas gemaakte ballons — kleine zowel als grote — zeer goed zijn. De uit buisglas gemaakte ballons doen echter in dit opzicht voor de andere niet of nauwelijks onder als men bij de produktie rekt en inrolt.

Samenvatting. Machines voor de produktie van ballons voor gloeilampen en radiobuizen verwerken hetzij vloeibaar glas hetzij buisglas. Van de eerste soort worden besproken de „ribbon"-machine, de zuigblaasmachine en een te Eindhoven ontwikkelde machine die werkt zonder glasverlies. Deze laatste is een continu roterende machine die is uitgerust met 16 complete blaaseenheden. Ieder van deze 16 eenheden kan desgewenst een ander model ballon maken, mits van dezelfde hoeveelheid glas. De produktiecapaciteit is ca. 4000/uur. Daar machinaal te verwerken glasporties wegens de afkoeling niet onbeperkt klein kunnen zijn, maakt men kleine ballons uit buisglas. Van de buisglasmachines wordt eerst een, eveneens Eindhovense, 18-voudige machine beschreven die korte stukjes buis verwerkt. Daarna volgen diverse varianten hiervan: machines die lange buizen verwerken, machines met bodemvorm in plaats van blaasvorm. De capaciteit van alle is 1000 tot 1600 ballons per uur. Vervolgens wordt besproken hoe men door rekken en inrollen uit buisglas ook een ballon kan maken met sterk verschillende ballon- en halsdiameter. Het laatste hoofdstuk is gewijd aan de economische en andere factoren die de keuze van de machine bepalen.

SPANNINGSOPTISCHE UITZETTINGSCONTROLE VAN MATERIALEN VOOR GLAS-METAALAANSMELTINGEN

door J. de VRIES *).

536.413.082.532:666.1.037.5

Een van de belangrijkste oorzaken van het optreden van spanningen bij glas-metaal-, glas-keramiek- of glas-glasverbindingen is het verschil in thermische uitzetting tussen de aaneengesmolten materialen. Daar de spanningen niet zo groot mogen worden dat het glas springt, is het van belang de uitzettingen van de te verwerken materialen van te voren te controleren, ten einde storingen in de produktie te voorkomen. In de meeste laboratoria en fabrieken is het nog steeds gebruikelijk de uitzettingen met een dilatometer rechtstreeks te meten als functie van de temperatuur en de verkregen krommen te vergelijken. Ook geeft men voor een materiaal wel een uitzettingscoëfficiënt op, die uit de dilatometerkromme is afgeleid.

Nu in verband met de snelle stijging van de industriële produktie in Europa, ook op het gebied van de glasverwerking een steeds intensiever internationaal contact tot stand komt, blijkt telkens weer dat de dilatometrische methode niet nauwkeurig genoeg is. Het lijkt ons daarom gewenst opnieuw de aandacht te vestigen op een spanningsoptische methode van uitzettingscontrole. Deze methode, waarbij in proefaansmeltingen van genormaliseerde vorm de dubbele breking wordt gemeten, wordt bij Philips reeds ruim 20 jaar toegepast, en is in dit tijdschrift dan ook in 1947 al eens beschreven [1]). Om niet te veel in herhaling te vervallen, wijden we thans speciaal aandacht aan verbindingen tussen glas en *metaal*, die in het artikel van 1947 slechts terloops genoemd zijn.

De spanningsoptische methode

Bij de spanningsoptische methode wordt de dubbele breking gemeten aan een proefaansmelting van een der in *fig. 1* geschetste vormen. Om twee monsters glas, of monsters glas en keramiek, te vergelijken, worden plaatjes van deze materialen aan elkaar gesmolten ifig. 1*a*). Voor een metaal in plaatvorm en een glas gebruikt men de zg. plaataansmelting van fig. 1*b*, terwijl het cilindervormige

*) Hoofdindustriegroep Glas, Eindhoven.

[1]) A. A. Padmos en J. de Vries, Spanningen en spanningsonderzoek bij glas, Philips techn. T. **9**, 277-285, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

proefstukje van fig. 1c, de zg. parelaansmelting, geschikt is indien het metaal als draad wordt aangeboden. Is de diameter van de draad groter dan 3 mm (men spreekt dan liever van staaf), dan slijpt men aan

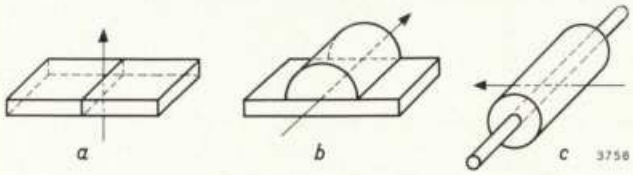


Fig. 1. Genormaliseerde vormen van proefaansmeltingen ter bepaling van uitzettingsverschillen volgens de spanningsoptische methode. In de pijlrichtingen valt gepolariseerd licht door. Vorm (*a*) dient voor paren van glazen, voor glas en keramiek en soms voor metaal en glas, (*b*) voor metaal in plaatvorm en glas (zg. plaataansmelting) en (*c*) voor metaal in draadvorm en glas (zg. parelaansmelting).

de staaf een vlakke kant, waartegen men een glasplaatje smelt. *Fig. 2* toont enige uitgevoerde proefaansmeltingen.

Als de aaneengesmolten materialen verschillen in uitzetting, zullen er bij afkoeling spanningen in ontstaan. De proefstukjes worden in een oven zo langzaam afgekoeld dat de resterende spanningen hun oorzaak uitsluitend vinden in het verschil in uitzetting van de twee materialen. Zoals bekend, maken spanningen een glas dubbelbrekend [2]). De sterkte der dubbele breking, uitgedrukt in optisch wegverschil per cm dikte van het dubbelbrekende materiaal, is een maat voor de spanning, en daarmee voor het uitzettingsverschil. Het optische wegverschil wordt, met behulp van gepolariseerd licht, gemeten in nm (1 nm = 10^{-9} m), zodat de sterkte der dubbele breking wordt opgegeven in nm/cm. In de praktijk spreekt men meestal nog van mμ/cm.

Ter toelichting het volgende. Als een vlakke gepolariseerde elektromagnetische golf loodrecht invalt op een dubbelbrekend plaatje, kan men zich de trilling in twee onderling loodrechte richtingen (de hoofdrichtingen) ontbonden denken. Deze componenten onderscheiden zich door een enigszins verschillende voortplantingssnelheid, zodat het oorspronkelijke golffront zich splitst in twee evenwijdige golffronten. Na het doorlopen van het plaatje is tussen deze twee golffronten in lucht een afstand ontstaan, het zg. optische wegverschil, dat evenredig is met de dikte van het plaatje, mits daarin de dubbele breking over de gehele dikte constant is.

[2]) Zie b.v. J. Partridge, Glass-to-metal seals, Society of Glass Technology, Sheffield 1949.

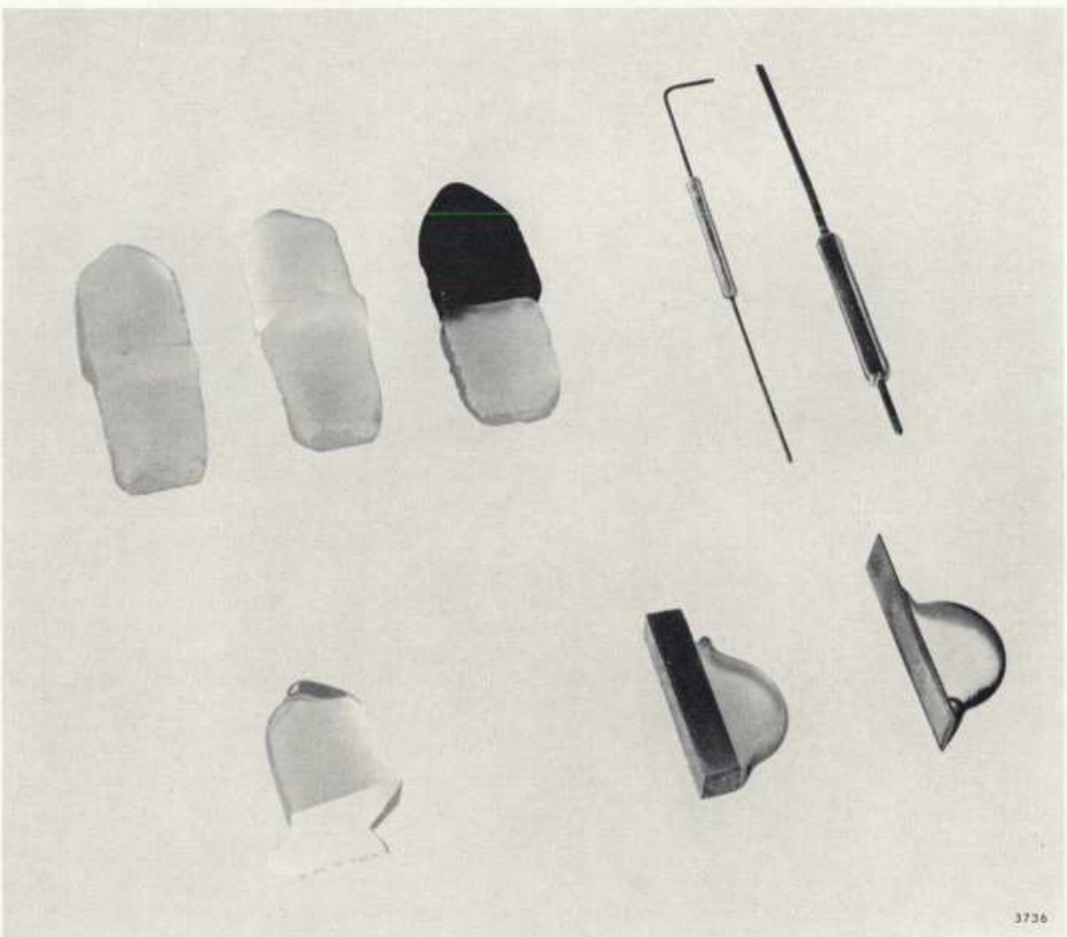


Fig. 2. Enige proefaansmeltingen. Boven links: glas-glas, nl. doorzichtig glas, opaalglas en zwart glas tegen doorzichtig glas; boven rechts: parelaansmeltingen. Onder links: glas-keramiek; onder rechts: plaataansmeltingen. Ongeveer ware grootte.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij proefaansmeltingen waarbij een glasplaatje betrokken is (fig. 1*a* en *b*), laat men het licht loodrecht op dit plaatje invallen en meet men het optische wegverschil voor een lichtstraal die vlak langs het grensvlak gaat. In het grensvlak is de spanning het grootst en daar vindt men dus ook het grootste optische wegverschil. Dit wegverschil deelt men vervolgens door de dikte van het plaatje.

Bij het vergelijken van uitkomsten, verkregen aan verschillende plaataansmeltingen (fig. 1*b*), moet men er rekening mee houden dat de spanning voor een gegeven glas-metaalcombinatie kleiner is naarmate het metaal dunner is. Dit komt doordat dun metaal gemakkelijker rekt. Het effect wordt merkbaar bij metaalplaat dunner dan ca. 0,5 mm. Uitkomsten verkregen met dunne plaat worden daarom door proefondervindelijk vastgestelde correcties herleid tot uitkomsten voor dikke plaat.

Bij parelaansmeltingen laat men het licht in de richting loodrecht op de metaaldraad invallen en meet men het optische wegverschil voor een lichtstraal die raakt aan de metaaldraad. Bij de meting bevindt de parel zich in een glazen bakje dat een vloeistof bevat met vrijwel dezelfde brekingsindex als het glas van de parel (immersievloeistof). Er is dan geen storende reflexie of breking aan het cilinderoppervlak. Het gemeten optische wegverschil deelt men door de weg die de lichtstraal in de parel heeft afgelegd (dus door de afstand A_1A_2; zie *fig. 3*), en men krijgt dus weer een uitkomst in nm/cm.

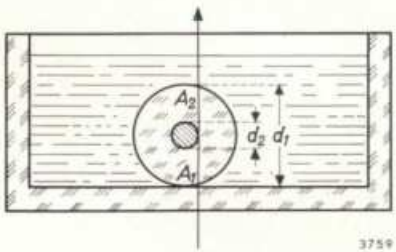


Fig. 3. Bij een parelaansmelting deelt men het optische wegverschil voor een lichtstraal die raakt aan de metaaldraad, door de in de parel afgelegde weg A_1A_2. Bij de meting is de parel ondergedompeld in een vloeistof met vrijwel dezelfde brekingsindex als het glas van de parel.

Bij parelaansmeltingen hangt de uitkomst die men vindt bij een bepaalde combinatie van glas en metaal, af van de diameterverhouding van parel en draad. Om vergelijkbare getallen te krijgen, moet men daarom de uitkomsten herleiden tot een bepaalde diameterverhouding, waarvoor men vaak de verhouding 3 kiest. Voor de herleiding hebben Hull en Burger een grafiek berekend aan de hand van een theorie van Poritsky [3] [4]). Heeft men b.v. gemeten aan een parelaansmelting met diameterverhouding 4, dan volgt uit deze grafiek (*fig. 4*) dat men de uitkomst door 0,7 moet delen om deze tot de diameterverhouding 3 te herleiden [5]).

Soms is het nodig uitkomsten verkregen met plaat- en parelaansmeltingen met elkaar te vergelijken. Het ligt voor de hand dat dit niet rechtstreeks kan gebeuren. Voor de vergelijking moet men ook hier gebruik maken van een proefondervindelijk vastgestelde herleiding.

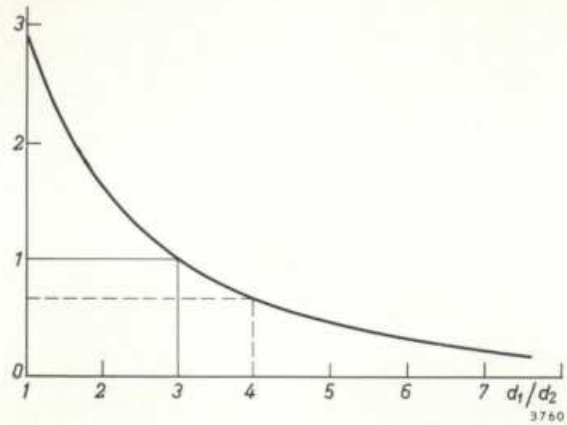


Fig. 4. Correctiegrafiek volgens Hull en Burger [3]) om metingen aan parelaansmeltingen met verschillende verhouding van pareldiameter d_1 en draaddiameter d_2 tot elkaar te herleiden. Een uitkomst, verkregen bij $d_1/d_2 = 4$, wordt door deling door 0,7 herleid tot de uitkomst voor $d_1/d_2 = 3$.

Standaardglazen

Een belangrijke stap is het invoeren van zg. standaardglazen. Een bepaalde partij glas wordt gereserveerd voor meetdoeleinden en daarmee verheven tot standaardglas. Andere materialen vergelijkt men door middel van de proefaansmeltingen volgens fig. 1 met dit standaardglas. Hierdoor krijgt men waarden voor de uitzetting die onderling vergelijkbaar zijn.

Voor ieder type glas, dus voor de kalkglazen, de loodglazen, de borosilicaatglazen, enz., moet een standaardglas van hetzelfde type beschikbaar zijn. De insmeltmetalen die bij een bepaald type glas

[3]) A. W. Hull en E. E. Burger, Glass-to-metal seals, Physics **5**, 384-405, 1934.

[4]) H. Poritsky, Analysis of thermal stresses in sealed cylinders and the effect of viscous flow during anneal, Physics **5**, 406-411, 1934.

[5]) In bepaalde gevallen, nl. wanneer de zg. vertraagde elasticiteit van het glas een rol speelt, leidt de grafiek van Hull en Burger tot verkeerde conclusies. Voor uitvoerige beschouwingen hiervoor zij verwezen naar: A. L. Zijlstra en A. M. Kruithof, L'élasticité différée d'un verre borosilicate et son influence sur la formation de contraintes dans des scellements de ce verre, Verres et Réfractaires **12**, 127-141, 1958.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

passen, worden gemeten tegen het standaardglas van dit type. De standaardglazen krijgen codenummers, b.v. 28/4, en men komt ertoe de uitzettingen van de onderzochte materialen kortheidshalve op te geven als b.v. T50 nm/cm in 28/4 (T = trek, d.w.z. trekspanning in het standaardglas 28/4), of D100 nm/cm in 28/4 (D = druk, d.w.z. drukspanning in het standaardglas 28/4).

Men onderscheidt basisstandaard- en meetstandaardglazen. Een meetstandaard dient voor geregeld gebruik. Raakt de voorraad ervan uitgeput, dan wordt een nieuwe partij glas tot meetstandaard verheven. De meetstandaarden, die alle hun eigen codenummer krijgen, worden zo gekozen dat zij zo weinig mogelijk verschillen van de basisstandaard. De basisstandaard wordt slechts gebruikt voor het uitzoeken van nieuwe meetstandaarden en voor het vaststellen van eventueel nodige correcties op de metingen met de meetstandaarden. Op die wijze ontstaan meetwaarden die rechtstreeks vergelijkbaar zijn, zelfs al liggen er jaren tussen de tijdstippen van meting: alle waarden zijn immers uitgedrukt in spanningen tegen dezelfde basisstandaard.

Vergelijking van de spanningsoptische en de dilatometrische methode

Met de spanningsoptische methode omzeilt men een principieel bezwaar van de dilatometrische methode, nl. dat men een klein verschil van twee grootheden bepaalt door de grootheden zelf te meten en van elkaar af te trekken. De spanningsoptische methode is dan ook veel nauwkeuriger dan de dilatometrische, en bovendien sneller en eenvoudiger. Een theoretisch voordeel van de dilatometrische methode is dat de uitkomsten in principe onafhankelijk zijn van de meetmethode. Resultaten verkregen in verschillende laboratoria zouden dus rechtstreeks vergelijkbaar zijn, resultaten van de spanningsoptische methode zijn dit slechts voor zover gebruik wordt gemaakt van op dezelfde manier vervaardigde proefaansmeltingen en dezelfde standaardglazen. In de praktijk blijkt echter de vergelijkbaarheid van dilatometeruitkomsten bitter tegen te vallen, zodat het voordeel ervan slechts in schijn bestaat.

Een nog niet genoemd voordeel van de spanningsoptische methode is de nauwe aansluiting bij de praktijk. Bij het opsporen van de oorzaken van uitval en het zoeken naar betere fabricagebeheersing en betere produktiemethodes geven daardoor de spanningsoptische metingen veel meer steun dan de dilatometrische. Aan het slot van het artikel wordt dit met een voorbeeld toegelicht.

Verbreiding van de spanningsoptische methode vereist nauwe samenwerking tussen alle betrokkenen. Deze samenwerking op internationaal niveau, die door het Fysisch Laboratorium van het Ontwikkelingscentrum van Philips' Glasfabrieken zoveel mogelijk wordt bevorderd, begint geleidelijk te ontstaan.

Uitzettingstoleranties voor glas en metaal

Stel dat een glas G en een metaal M in zeker produkt worden gecombineerd. G en M passen natuurlijk bij elkaar wat hun uitzetting betreft, maar van beide zal deze uitzetting een zekere spreiding vertonen. In ongunstige gevallen, dus als de uitzetting van het glas aan de hoge en die van het metaal aan de lage kant is — of omgekeerd —, zal daardoor toch het gevaar van sprong bestaan. De vraag is welke toleranties men voor de uitzetting van het glas en voor die van het metaal afzonderlijk moet aanhouden ten einde zeker te zijn van een goede verbinding.

Om deze vraag te beantwoorden, moet men in de eerste plaats weten welke uitzettingsverschillen toelaatbaar zijn. In een enkel geval is het mogelijk dit systematisch te bepalen door van het bedoelde produkt een serie proefexemplaren te maken met materialen met toenemend verschil in uitzetting. Dit is de ideale manier, maar in de praktijk is deze meestal niet toe te passen. Gewoonlijk moet men zijn toevlucht nemen tot analyse van de uitval. Van een exemplaar dat gesprongen is, neemt men het glas en het metaal, en maakt daarvan een proefaansmelting. Al naar de vorm van het metaal wordt dit een plaat- of een parelaansmelting. Het uitzettingsverschil dat men hieraan meet, is voor het beoogde produkt blijkbaar niet toelaatbaar. Door een aantal gesprongen exemplaren aldus te onderzoeken, vormt men zich een oordeel over de uitzettingsverschillen (uitgedrukt in nm/cm) die voor het bewuste produkt wèl toelaatbaar zijn. (Er wordt in dit stadium dus geen standaardglas gebruikt.)

In de tweede plaats moet men op de volgende manier een grafiek construeren. Van een monster G_1 van glas G maakt men tegen het bijpassende standaardglas S een proefaansmelting. De in S gemeten dubbele breking zij g_1 nm/cm. Men maakt ook een proefaansmelting (plaat- of parelaansmelting) van G_1 tegen een monster M_1 van het metaal M. De in G_1 gemeten dubbele breking zij a_1 nm/cm. g_1 en a_1 worden resp. als abscis en ordinaat uitgezet en leveren het punt A (zie *fig. 5*). Men handelt op dezelfde wijze met een tweede glasmonster G_2, dat een iets andere uitzetting heeft, b.v. doordat het afkomstig is van een andere charge, en vindt een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

punt B. (Er is hier dus hetzelfde metaalmonster M_1 gebruikt.) Andere glasmonsters blijken punten te leveren die alle vrijwel op de rechte AB liggen, zodat men in principe slechts twee punten behoeft vast te stellen. De rechte AB is dus karakteristiek voor het metaalmonster M_1. Andere metaalmonsters (die een iets andere uitzetting hebben) leveren rechten evenwijdig met AB. De snijpunten dezer rechten met de verticale as stellen natuurlijk de spanningen voor die deze metaalmonsters in het standaardglas veroorzaken.

Men kan nu overgaan tot het vaststellen van de uitzettingstoleranties voor het glas en het metaal afzonderlijk. Daarbij heeft men nog een zekere vrijheid: de tolerantie voor het glas zal ruimer zijn naarmate men die voor het metaal nauwer stelt; een bewering die geldig blijft als men de woorden „glas" en „metaal" verwisselt. Neem bij wijze van voorbeeld aan dat om bepaalde redenen is vastgesteld dat de uitzetting van het metaal moet liggen tussen D50 en D190 in S. Trek dan in fig. 5 lijnen evenwijdig met AB door de punten D50 en D190

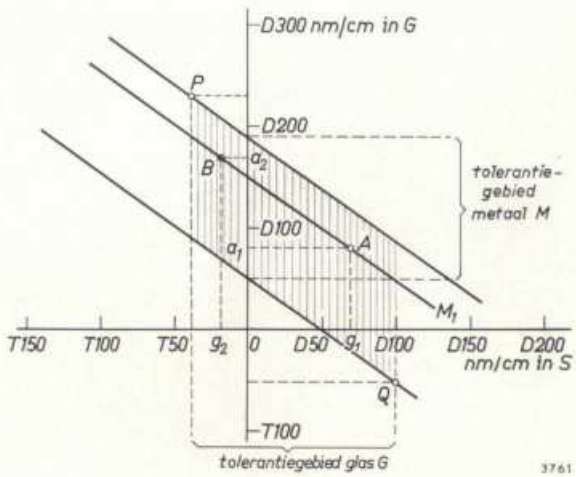


Fig. 5. Grafische bepaling bij een glas-metaalaansmelting van de uitzettingstoleranties voor het glas, als die voor het metaal zijn gegeven, of omgekeerd.

op de verticale as (waar immers G identiek is met S). Door uitvalanalyse zij vastgesteld dat tussen G en M uitzettingsverschillen toelaatbaar zijn die liggen tussen D220 en T50 in een proefaansmelting. Horizontale lijnen die corresponderen met deze waarden, leveren de snijpunten P en Q (zie fig. 5). De abscissen van P en Q stellen dan de gezochte toleranties voor het glas G voor, dus T43 en D100, of, afgerond: T50 en D100 in S.

Spanningsoptische metingen voor fabricagebeheersing

We besluiten dit artikel met een voorbeeld van de steun die spanningsoptische uitzettingsmetingen kunnen geven bij het opsporen en het elimineren van de oorzaak van sprong. Het betreft hier de in *fig. 6* afgebeelde zendbuis. Deze bevat een ring A van fernico waartegen aan de ene kant de glazen ballon B is gesmolten en aan de andere kant de glazen

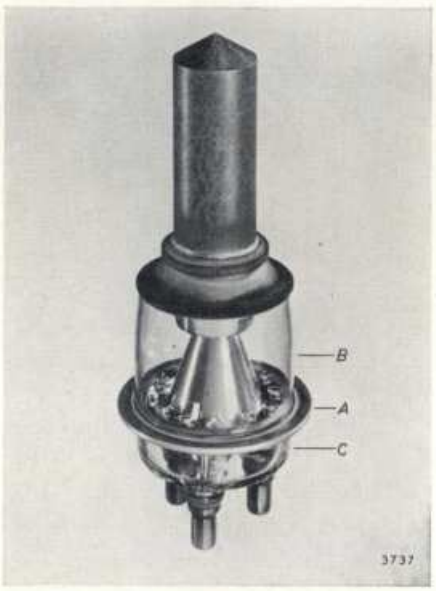


Fig. 6. Een zendbuis waarbij de oorzaak van sprong in de aansmeltzone tussen de glazen ballon B en de fernicoring A werd opgespoord en geëlimineerd met behulp van spanningsoptisch onderzoek aan genormaliseerde proefaansmeltingen. C is een glazen schotel, die tegen de andere kant van ring A is gesmolten. Hoogte van de buis ca. 20 cm.

schotel C. Als de buis werkt, wordt onder bepaalde omstandigheden de ring A door wervelstromen verhit tot boven 200 °C. In deze situatie is herhaaldelijk sprong opgetreden in de aansmeltzone van de ballon B aan de ring A. Het breukvlak lag daarbij steeds ongeveer evenwijdig met het aansmeltvlak.

Aan plaataansmeltingen van glas-metaalcombinaties die tot sprong hadden geleid, is het uitzettingsverschil spanningsoptisch gemeten als functie van de temperatuur. Hierbij zijn krommen als kromme *1* in *fig. 7* gevonden. Om dergelijke „polarimeterkrommen" op te nemen, wordt de

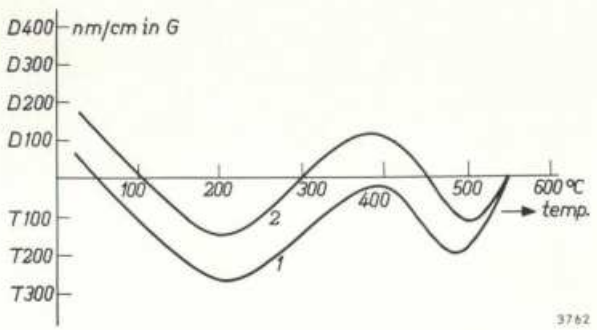


Fig. 7. De dubbele breking als functie van de temperatuur (een zg. polarimeterkromme) bij combinaties van glas en metaal, gebruikt in een buis als afgebeeld in fig. 6.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

proefaansmelting ondergebracht in een speciaal voor dit doel vervaardigd oventje. De merkwaardige vorm van de krommen is het gevolg van de ongelijkmatige uitzetting van zowel glas als metaal [6]).

Het valt op dat in de proefaansmelting bij 200 °C een maximale trekspanning in het glas heerst. Men mag niet concluderen dat in de te onderzoeken verbinding precies dezelfde spanning aanwezig is, want de omstandigheden bij de werkelijke en de proefaansmelting zijn nooit precies gelijk, en dit heeft weer invloed op de spanningen. Maar wel geeft de piek bij 200 °C in de polarimeterkromme grond aan het vermoeden dat een te sterke uitzetting van het metaal ten opzichte van het glas de oorzaak is van het geconstateerde euvel. Doordat de hitte wordt opgewekt in de metalen ring, zal deze heter zijn dan het glas, wat de sterkere uitzetting van het metaal nog accentueert. Onderstel dat bij kamertemperatuur vrijwel geen spanningen aanwezig zijn (*fig. 8a*). Bij hogere temperaturen zal zich dan de in fig. 8*b* geschetste vervorming voordoen. Deze gaat gepaard met een tangentiële trekspanning en bovendien met in de asrichting een drukspanning aan de binnenkant en een trekspanning aan de buitenkant van de aansmeltzone. Is de laatstgenoemde spanning verantwoordelijk voor het springen van de buis, dan moet het euvel te verhelpen zijn door slechts metaal-glascombinaties te gebruiken waarvoor de polarimeterkromme wat hoger ligt, b.v. zoals kromme *2* in fig. 7. Het is gebleken dat deze handelwijze inderdaad het verwachte resultaat heeft. Bij kamertemperatuur zal nu in het glas een tangentiële drukspanning heersen, en in de asrichting aan de buitenkant van de aansmeltzone een drukspanning, en aan de binnenkant een trekspanning. Als de buis wordt ingeschakeld, zal deze trekspanning afnemen, terwijl aan de buitenzijde pas bij hogere temperatuur de drukspanning zal overgaan in een trekspanning, die nu echter geen waarde bereikt die sprong kan veroorzaken. Bij kamertemperatuur is de insmelting nu voorgespannen. De voorspanning mag echter niet te groot worden anders dreigt gevaar van de trekspanning die bij kamertemperatuur, (en daarbeneden, b.v. gedurende vervoer) aan de binnenkant van de aansmelting heerst. Proefondervindelijk zijn de grenzen waarbinnen de polarimeterkrommen moeten liggen, vastgesteld.

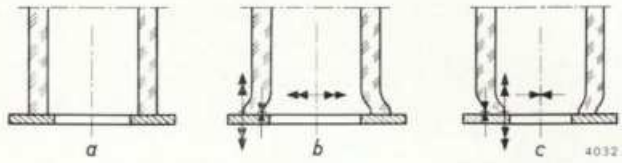


Fig. 8. Ter toelichting van de oorzaak van sprong in de aansmelting van ballon *B* en fernicoring *A* uit fig. 6, en van de daartegen genomen maatregel. Ondersteld is dat bij glas-metaalcombinaties waarvoor de polarimeterkromme *1* in fig. 7 geldt, bij kamertemperatuur geen, of vrijwel geen, vervorming, en dus geen spanning aanwezig is (*a*). Bij hogere temperatuur treedt dan de vervorming (*b*) op. Trekspanningen zijn met dubbele, drukspanningen met enkele pijlen aangeduid. Als een glas-metaalcombinatie wordt gebruikt waarvoor de polarimeterkromme *2* geldt, is bij kamertemperatuur de aansmelting voorgespannen (*c*).

---

[6]) Van de onregelmatige uitzetting van fernico, die veroorzaakt wordt door de magnetische eigenschappen van deze legering, trekt men profijt om te kunnen bereiken dat het uitzettingsverschil met een bijpassend glas als functie van de temperatuur niet te groot wordt.

Samenvatting. Een gevoelige, eenvoudige en snelle methode voor de controle van de uitzetting van aaneen te smelten glassoorten, glas en metaal of glas en keramiek, is de spanningsoptische methode, d.w.z. de meting van de dubbele breking in proefaansmeltingen van genormaliseerde vorm der te controleren materialen tegen een geschikt standaardglas. Om deze methode op grote schaal in te voeren in plaats van de nog vrij algemeen gebruikelijke, maar weinig bevredigende dilatometermetingen, is nauwe samenwerking tussen de betrokken bedrijven noodzakelijk. Deze samenwerking op internationaal niveau komt geleidelijk tot stand. Het artikel bevat een beschrijving van de spanningsoptische methode en een vergelijking met de dilatometrische; verder een bespreking van de bepaling langs grafische weg der uitzettingstoleranties voor glas en metaal voor een gegeven verbinding. Het eindigt met een voorbeeld van de toepassing van spanningsoptische metingen bij het opsporen en het elimineren van de oorzaak van sprong in en bepaald produkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!